

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О.В. Гондлях

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності:** 133 – Галузеве машинобудування

**на тему:** «Каландр z-подібний з модернізацією механізмів регулювання зазору»

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЛП-з71мп

Меріков Максим Олександрович

\_\_\_\_\_

Керівник:

к.т.н., доц., Сідоров Д.Е.

\_\_\_\_\_

Консультант з розділу модернізація:

доц. каф. ХПСМ, д.т.н. Щербина В.Ю.

\_\_\_\_\_

Консультант з розділу технологія монтажу та експлуатації:

ст.викл. каф. ХПСМ Борщик С.О.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність - 133 - Галузеве машинобудування

(спеціалізація - Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів та виробів)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.В.Гондлях

«\_\_»\_\_\_\_\_2018 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Мерікову Максиму Олександровичу**

1. Тема дисертації «Каландр z-подібний з модернізацією механізму регулювання зазору», науковий керівник дисертації Сідоров Дмитро Едуардович к.т.н. доц., затверджені наказом по університету від «\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_ р. №\_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: \_\_\_\_\_

4. Вихідні дані: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

---

---

---

---

---

---

---

---

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

---

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Модернізація	Щербина В.Ю., доцент каф. ХПСМ		
Монтаж та експлуатація	Борщик С.О., ст. викл. каф. ХПСМ		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка

Студент

Меріков М.О.

Науковий керівник дисертації

Сідоров Д.Е.

## Реферат

У дипломному проекті представлений каландр із z-подібним розташуванням валків, який призначений для роботи в потоковій технологічній лінії, для виробництва лінолеуму на основі ПВХ, у промисловості будівельних матеріалів, а також може застосовуватися в промисловості гумотехнічних виробів під час переробки гумових сумішей пластичністю 0,05 і вище та в лініях для збирання й обклашки сердечників транспортерних стрічок. За допомогою каландра виконується остаточні обробка і формування пластичної маси, що калібрується в нижньому зазорі товщиною 0,4...3 мм.

На основі літературного та патентного огляду запропоновані й обґрунтовані модернізації механізмів регулювання зазору і перехрещення валків, розроблена схема автоматизації та заходи охорони праці та навколишнього середовища, виконані економічні розрахунки, а також кінематичні, параметричні, теплові розрахунки та розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність машини та доцільність обраної модернізації.

Дипломний проект складається з графічної частини 9 аркушів формату А1, та розрахунково-пояснювальну записку на аркушах формату А4.

Розділ „Автоматична система керування” проектувався з метою вдосконалення та збільшення якісних показників терморегулювання валків.

У частині „Економіка” розраховано всі витрати споживача та виробника модернізованої машини.

Розрахунки на міцність зроблені за допомогою системи „Весна” і програми на мові C++. Розроблено розділ „Технологія монтажу та експлуатації”.

## Реферат

В дипломном проекте представлен каландр с z-подобным размещением валков, который предназначен для работы в потоковой технологической линии, для производства линолеума на основе ПВХ, в производстве строительных материалов, а также может применяется в производстве резинотехнических изделий во время переработка резиновых смесей пластичностью 0,05 и выше, и в линиях для сборки и обкладки сердечников транспортерных лент. С помощью каландра выполняется окончательная обработка и формирование пластичной массы, которая калибруется в нижнем зазоре толщиной 0,4...3 мм.

На основании литературного и патентного осмотра предложены и обоснованы модернизации механизмов регулировки зазора и перекося валков, разработана схема автоматизации и меры по охране труда и окружающей среды, выполнены экономические расчеты, а также кинематические, параметрические, тепловые расчеты и расчеты на прочность, которые подтверждают работоспособность машины и необходимость выбранной модернизации.

Дипломный проект состоит из графической части 9 листов формата A1, и Расчетно-пояснительной записки на листах формата A4.

Раздел „Автоматическая система управления” проектировался с целью улучшения и увеличения качественных показателей терморегулирования валков.

В части „Экономика” рассчитано все расходы потребителя и производителя модернизированной машины.

Расчеты на прочность сделаны с помощью системы «Весна» и программы на языке C++. Разработан раздел «Технология монтажа и эксплуатации».

## **Abstract**

In diploma project is submitted calender with z-similar accommodation of the shafts, which is intended for work in flowing technological line, for manufacture linoleum on a basis PVC, in manufacture of building materials, and also can the processing in manufacture rubber-technical products in rubber mixes by plasticity 0,05 and above, and in lines to assembly and imposed cores of conveyor tapes is applied. With the help of calender is made the final processing and formation plastics of weight is carried out which is calibrated in the bottom backlash by thickness 0,4... 3 mm.

On the basis of literary and patent review is offered and grounded modernizations of mecanismes of control of gap and cocking of rolls of calender is proved, the chart of automation and measures of labor and environment protection, the economic calculations are executed, and also kinematics, parametrical, thermal calculations and calculations on durability, which confirm serviceability of the machine and necessity of the chosen modernization.

The diploma project consists of a graphic part 9 sheets format of A1, and calculation-explanatory message on pages format of A4.

The section «an Automatic control system» was projected with the purpose of improvement and increase of qualitative parameters temperature regulation of the shaft.

In a part "Economy" all charges of the consumer and manufacturer of modernized machine are calculated.

Calculations on durability are executed by the system of "Spring" and program written in C++. The section " Technology of installation and exploitation " is developed.

## Зміст

	Вступ .....
1.	Призначення та галузь застосування машини.....
2.	Технічна характеристика базової машини.....
3.	Опис конструкції, її основних частин і принципу дії.....
4.	Літературний та патентний огляд.....
5.	Розроблення стартап проекту.....
7.	Охорона праці та навколишнього середовища .....
	Література.....

					<i>ЛПз 71мп.057256.01-70ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Каландр з-подібний з модернізацією механізмів регулювання зазору</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Меріков М.О.</i>					
<i>Перевір.</i>							
<i>Керівник</i>		<i>Сідоров Д. Е.</i>					
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>		<i>Борщик</i>			<i>НТУУ «КПІ» ім. Сікорського</i>		

## ВСТУП

Дана робота присвячена модернізації z-подібного каландра, з діаметрами валків 710 мм та довжиною робочої частини валка 1800 мм для переробки полімерних матеріалів. Переробка матеріалу на даній машині здійснюється за рахунок каландрування. Каландрування - це процес, при якому розм'якшений полімерний матеріал пропускається через зазор між валками, розміщеними в горизонтальній площині. При цьому утворюється нескінченно довга стрічка, товщину якої можна регулювати.

На каландрах здійснюються наступні технологічні процеси: листування тканини, промазка тканини, виготовлення профільованої стрічки чи полоси, тиснення поверхні матеріалу, дублювання тканини чи листів пластичного матеріалу, обробка поверхні жорстких матеріалів та видалення надлишкової рідинної фази з листів та стрічок жорстких матеріалів.

Валків в каландрі буває два, три, чотири та навіть шість.

Для дублюючих, тиснильних та листувальних операцій, як правило, використовуються двовалкові каландри; для гладження і промотки як правило - трьох валкові; для листування та технологічних операцій - трьох та чотирьох валкові; для профілювання - чотирьох валкові каландри.

В каландрів призначених для листування, дублювання, тиснення та профілювання, окружні швидкості валків, як правило однакові. У каландрів для промазки фрикція (відношення окружної швидкості одного валка до окружної швидкості другого валка) необхідна; зовнішні валки мають близькі значення колових швидкостей, іншими словами, від нижнього валка до середнього колові швидкості збільшуються, а від середнього до верхнього зменшуються.

В залежності від валків матеріал, що оброблюється на каландрі проходить через зазор між валками в більшості випадків однаково; тому валки каландра виконуються одного діаметра в границі одної машини.



## 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИНИ

Каландр чотирьохвалковий із z-подібним розташуванням валків призначений для роботи в потоковій технологічній лінії, для виробництва лінолеуму на основі ПВХ, у промисловості будівельних матеріалів, а також може застосовуватися в промисловості гумо-технічних виробів під час переробки гумових сумішей пластичністю 0,05 і вище та в лініях для збирання й обкладки сердечників транспортерних стрічок.

На каландрі можуть виконуватися наступні операції:

- 1) двостороння обкладка технічних тканин;
- 2) двостороння обкладка сердечників гумовотканинних транспортерних стрічок;
- 3) фрикціонування тканин при подачі суміші в нижній зазор;
- 4) одnobічна обкладка тканин;
- 5) листування гуми.

За допомогою каландра виконується остаточні обробка і формування пластичної маси, що калібрується в нижньому зазорі товщиною 0,4...3 мм.

Каландр відноситься до виробів хімічного машинобудування одиничного виробництва та одиничного замовлення.

## 2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Технічні характеристики базового z-подібного каландра наведені у табл.2.1.

Табл.2.1.

Найменування параметра	Показник
Кількість валків	4 шт.
Розташування валків	z-подібне
Розміри робочої частини валків: - діаметр - довжина форма верхнього і нижнього валків	710±0,4 мм 1800 мм циліндричні
Робочі швидкості валків, м/хв	14...35
Робочі температури поверхні валків	120.....170 °C
Інтенсивність розігріву валків, не більш	1 °C/хв.
Регулювання температури поверхні валків	автоматичне
Ширина оброблюваного матеріалу	1200...1600 мм
Робочий зазор між валками	1,0...2,0 мм
Відсоток бракованої продукції	8%
Продуктивність	1200 кг/год
Напруга силової мережі електроприводів	380 В
Потужність	260 кВт

### 3. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН І ПРИНЦИПУ ДІЇ

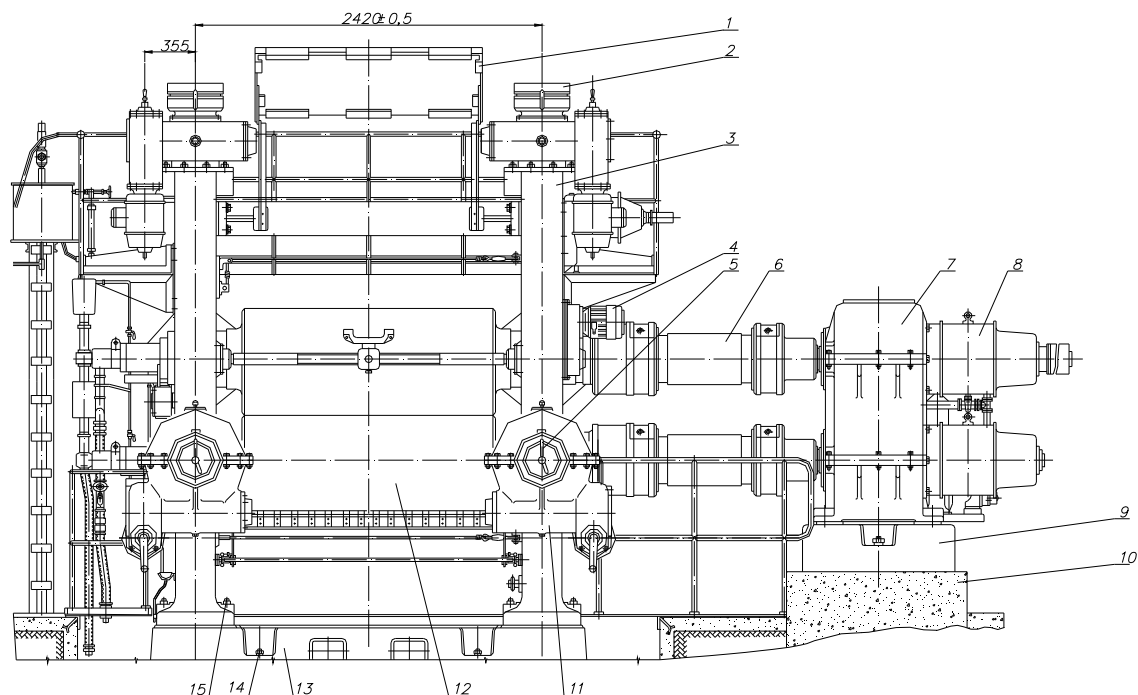


Рис.3.1 Загальний вид каландра

Каландр (рис.3.1), представлений у [1], [2] являє собою чотирьохвалкову машину із z-подібним розташуванням валків.

Станина каландра 9 є несучою конструкцією всіх технологічних вузлів і пристосувань машини. Станина складається з двох масивних чавунних плит, установлених на фундаменті. До плит кріпляться дві стійки, які зв'язані між собою звареною траверсою 3.

Основними робочими органами каландра є валки 12. Валки змонтовані на підшипниках кочення. Корпуси підшипників інших валків підвісні, корпуси підшипників нижньої основи валка нерухомо закріплені у вікнах стінок. Переміщення їх виконується для регулювання зазору між валками. Валки виготовлені з кокильного чавуна з вибіленою поверхнею бочки, що має твердість 45...50 HRC.

Для дотримання заданого температурного режиму каландра, валки виготовлені з подовжніми каналами поблизу поверхні бочки, по яких циркулює теплоносій.

Рух теплоносія по двох поруч розташованих каналах здійснюється в протилежні сторони бочки валка. Бочки верхнього і нижнього валків виконані циліндричними.

За умови великих розпірних зусиль для компенсації прогину валків у конструкціях виносних верхньому і нижньому валках передбачені механізми їх перекосу, які змонтовані в корпусах підшипників цих валків із двох сторін. Кожний з механізмів перекосу має індивідуальний електродвигун постійного струму, що приводить у рух через двоступінчастий черв'ячний редуктор натискний гвинт, гайка якого нерухомо зв'язана з клином. Переміщення клина викликає переміщення підшипникової опори разом з одним кінцем валка. Другий кінець валка при цьому може бути нерухомим або переміщатися в тій же площині в протилежну сторону.

Регулювання робочих зазорів між верхнім виносним і верхнім, нижнім виносним і нижнім, а також між верхнім і нижнім валками каландра здійснюється шістьма механізмами регулювання зазору 2, які встановлені попарно на трьох підвісних валках. Привід механізму регулювання зазору каландра індивідуальний для кожного валка. Електродвигуни привода постійного струму передають обертання натискному гвинту через двоступінчастий черв'ячний редуктор.

Для обмеження розтікання маси матеріалу уздовж валків і запобігання влучення її в підшипники, між верхнім виносним і верхнім, нижнім виносним і нижнім валками каландра встановлені обмежувальні стріли 1, що переміщуються вздовж валків за допомогою гвинтів, які вмонтовані у кронштейни та з'єднані зі стрілоутримувачами. Стріли можна встановити вручну на ширину 1200...1600 мм.

Для підведення теплоносія до валків передбачений спеціальний пристрій— барботер. Теплоносій, приготований у спеціальних теплових станціях, подається в штуцер голівки барботера, через ущільнення в центральний канал валка, а звідти по косих отворах надходять у подовжні канали, виконані поблизу поверхні бочки валка. Пройшовши всю довжину подовжнього каналу, теплоносій через косі отвори протилежного кінця валка і по міжтрубному

простору виходить з валка по сполучних трубопроводах на вхід теплової станції.

Привод каландра здійснюється від індивідуальних електродвигунів постійного струму на кожен валок каландра через блок-редуктор, в якому змонтовані індивідуальні триступінчасті редуктори.

Вали редукторів з валами електродвигунів з'єднані шарнірними універсальними шпинделями 6, що дозволяють здійснювати розсування та перехрещування валків.

На напівмуфті шпинделя нижнього валка каландра встановлена зірочка, яка передає крутний момент, на вузол привода прийомного транспортера, розташованого під валками каландра.

Маса матеріалу для живлення каландра подається в зазор між верхнім виносним і верхнім, валками каландра від живильних вальців. Для безперервного і рівномірного живлення каландра встановлений спеціальний живильний пристрій.

Живильний пристрій складається зі стрічкового транспортера, який подає на каландр отриману з вальців стрічку і механізму, який передає транспортеру коливальний рух для рівномірної розкладки стрічки вздовж робочого зазору каландра. Привід стрічкового транспортера і механізму коливання здійснюється від асинхронних двигунів.

Привід механізму обрізки кромки здійснюється ланцюговою передачею від зірочки, яка встановленої на шийці нижнього валка каландра.

Для аварійної зупинки каландра передбачені аварійні пристрої, що складається зі штанг, з'єднаних з кінцевими вимикачами, які заблоковані з пускорегулюючою апаратурою головного привода каландра.

Нормальний пуск і зупинка каландра виконується із пульта керування каландром.

#### 4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

З метою усунення недоліків каландра z-подібного у звіті проведено огляд патентів [17-18, 20-23].

##### 1. Валок до каландрів для переробки полімерних матеріалів [20].

Винахід відноситься до устаткування для переробки полімерних матеріалів. Мета винаходу - інтенсифікація процесу переробки полімерних матеріалів за рахунок створення перемінного градієнта температури на робочій поверхні валка.

Для цього трубки 6 рівномірно розташовані по окружності валка з кроком 30 - 40°, трубки 6 виконані з ізольованих друг від друга секцій 7 довжиною, що відповідає 0,08 - 0,12 довжини робочої поверхні валка. Легковипарювані рідини в двох сусідніх секціях обрані з температурою кипіння, що відрізняється на 30 - 40°C, причому секції 7, заповнені рідиною з однаковою температурою кипіння, розташовані в шаховому порядку. Крайні секції 10, 11 у вихідних торців валка заповнені рідиною з однаковою температурою кипіння.

На Рис.4.4 зображений пропонований валок:

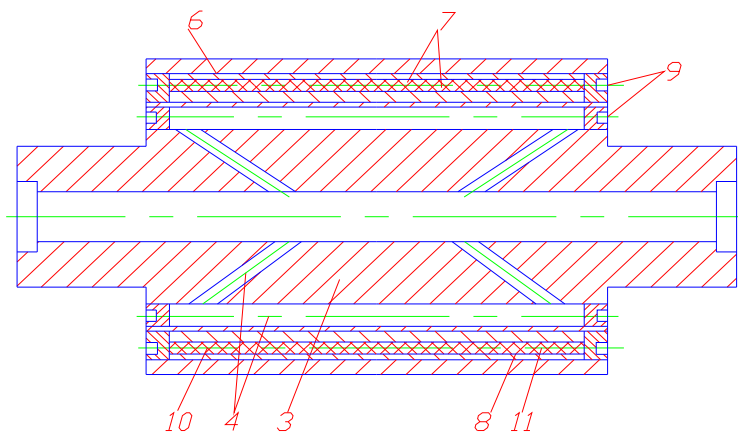


Рис.4.1 Валок

Для заповнення секцій 7 і просочення пористого матеріалу використовуються дві легковипарювані рідини з різницею температур кипіння 30-40°C, наприклад наступні пари: гексан, вода, метиловий спирт і гептан. Секції з однаковою рідиною розташовані в шаховому порядку.

Крайні секції 10 і 11 у вихідних торців валка заповнені легкокипарюваною рідиною з однаковою температурою кипіння.

## 2. Валок для валкових машин [21]

Винахід відноситься до устаткування для переробки полімерних матеріалів, може бути використаний на валкових машинах, зокрема на гладильних каландрах.

Мета - підвищення рівномірності температурного поля на робочій поверхні валка. Для цього обойма виконана складеною із співвісних секцій, а кожна секція постачена індивідуальним приводом обертання (рис. 4.5). При роботі валка на його торцях, де відбувається спад температури, секції обойми з незалежними приводами обертаються з більшою кутовою швидкістю, чим центральна секція обойми зі своїм приводом. При цьому забезпечується збільшення величини моменту тертя, що супроводжується вирівнюванням температурного поля уздовж робочої поверхні валка.

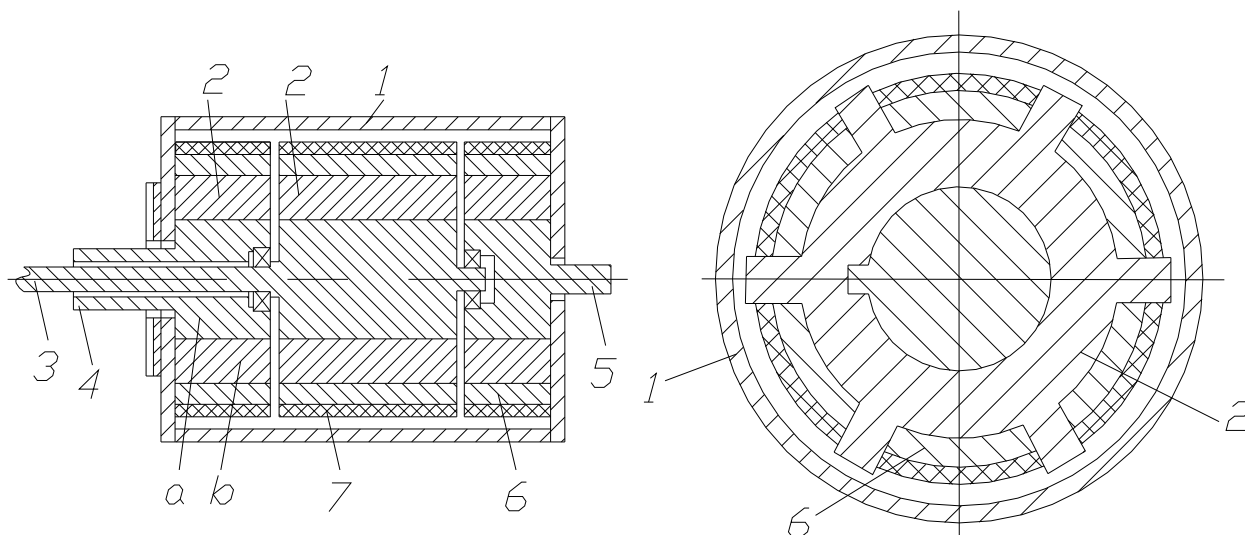


Рис. 4.2. Валок, складений з секцій

Валок містить зовнішній порожній циліндричний корпус 1, постачений індивідуальним приводом обертання (не показаний), і внутрішній корпус з обоймою 2, виконаною складеною із співвісних секцій а і б. Кожна із секцій змонтована на приводних валах 3-5 відповідно, з'єднаних з індивідуальними приводами обертання з можливістю обертання незалежно одна від одної. На

обоймі виконані пази, в яких установлені з можливістю радіального переміщення колодки 6. Робочі поверхні колодок 6 покриті фрикційним матеріалом 7.

Валок працює в такий спосіб. Включається привод обертання зовнішнього корпусу 1, що забезпечує необхідну лінійну швидкість робочої поверхні валка. Потім приводиться в обертання кожний з індивідуальних приводів обертання приведених валів 3-5 внутрішні корпуси. Зі зростанням кутової швидкості колодки 6, під дією відцентрових сил, віджимаються від обойми 2 і притискаються до внутрішньої поверхні зовнішнього корпусу 1. При цьому механічна енергія витрачається на подолання сил тертя, перетворюється в теплову і робоча поверхню валка нагрівається до заданої температури. Тому що температура на поверхні валка пропорційна моменту тертя між зовнішнім і внутрішнім корпусами, що пропорційний квадрату кутової швидкості обертання внутрішнього корпусу та зміна останньої величини дозволить регулювати температуру робочої поверхні валка. Тому, на торцях валка, де має місце спад температури, секції обойми 2 з незалежними приводами 4 і 6 обертаються з більшою кутовою швидкістю, чим центральна секція обойми з приводом 5, забезпечуючи збільшення величини моменту тертя, що супроводжується вирівнюванням температурного полюси уздовж робочої поверхні валка.

Оптимальна кількість секцій обойми дорівнює трьом.

### 3. Механізм регулювання перекосу валків [22].

Винахід відноситься до обладнання переробки полімерних матеріалів, наприклад гумових сумішей, шляхом пропускання матеріалу через зазор між обертаючими ся валками.

Відомі вальці зі змінною фракцією для полімерних матеріалів з валками, що обертаються від привода у корпусах підшипників, у яких геометричні осі бочок валків розміщені під різними кутами по відношенню до осей підшипників валків. Недолік конструкції валків є складність виготовлення і неможливість регулювання кутового зазору між валками.

Ціллю винаходу є підвищення продуктивності та полегшення обслуговування. Поставлена мета досягається завдяки тому, що присутня ексцентрикова втулка, що встановлена між корпусами та зовнішнім кільцем



підшипників з можливістю повороту. Так конструкція виготовлення вальців забезпечує можливість регулювання валкового зазору без зупинки вальців. У ролі механізму повороту і фіксації ексцентричних втулок можуть використовуватись гідравлічні б пневматичні, електричні, електромеханічні та інші типи приводів.

Схема механізму повороту наведена на рис. 4.3

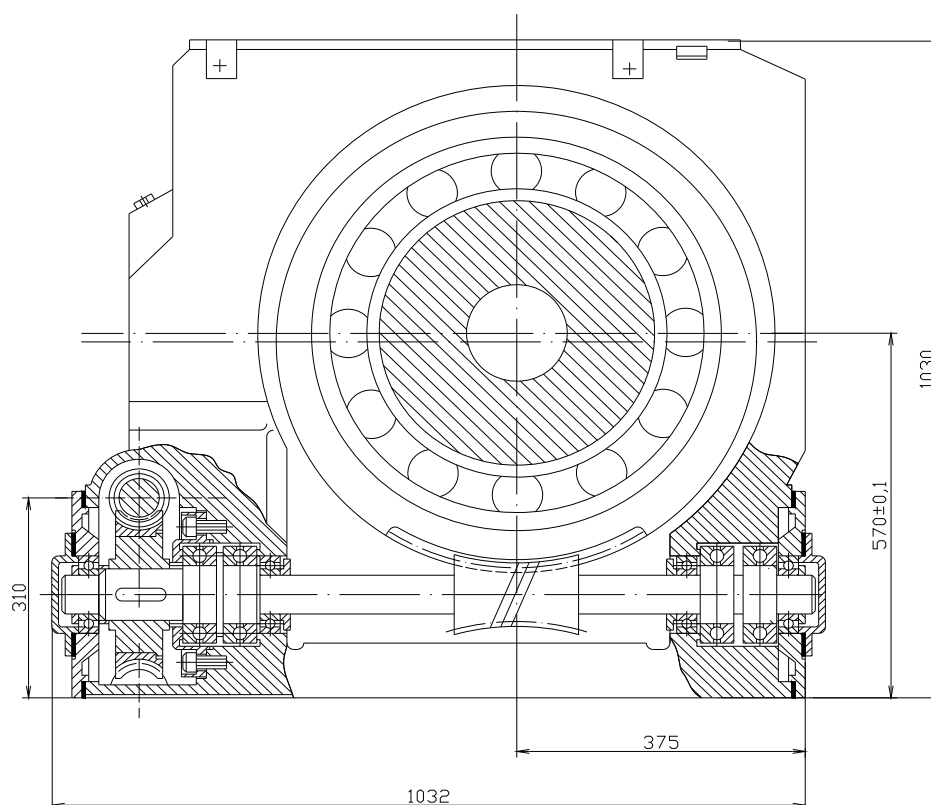


Рис. 4.3. Модернізований механізм перекошу валків

4. Пристрій для валкових машин для інтенсифікації процесу перемішування матеріалу у валковому зазорі [18].

Вібруючий вузол, виконаний у вигляді послідовно встановлених на кронштейні уздовж міжвалкового зазору вібруючих елементів, що складаються з порожнистих стрижнів на одному кінці з зовнішньою черв'ячною нарізкою, в середині яких встановлені хвилеводи-випромінювачі, зв'язані з ультразвуковими магнітострикційними вібраторами, що під'єднані до ультразвукового генератора, при цьому зовнішній діаметр черв'ячної нарізки змінюється.

Винахід відноситься до полімерного машинобудування, зокрема до пристроїв для інтенсифікації змішування і переробки полімерних матеріалів і гумових сумішей на валкових машинах.

В основу винаходу поставлена задача поліпшення інтенсифікації процесу перемішування полімерних матеріалів, а також зниження енерговитрат на переміщення вібруючого вузла.

Пристрій працює таким чином.

Перед завантаженням матеріалу всі вібруючі елементи 5 встановлені в крайньому висунутому положенні порожнистих стрижнів 6. Після завантаження матеріалу, що перероблюється у валковому зазорі виникає тиск, що діє на кінцевий торець стрижнів 6, тим самим переміщуючи їх разом із хвилеводами-випромінювачами 9 в нижнє положення. При вмиканні ультразвукового генератора коливання передаються через хвилеводи-випромінювачі на матеріал, що перероблюється, зменшуючи в'язкість матеріалу в локальному просторі в районі наконечника вібруючого елемента, тим самим і зменшуючи тиск. Таке обернено-поступальне спрямування дозволяє переміщати прошарок матеріалу, тим самим поліпшуючи його перемішування. Черв'ячна нарізка 7 із повздовжніми пазами 8, крім зворотно-поступального переміщення дозволяє здійснювати і обертальне прямування матеріалу, що ще більше інтенсифікує перемішування. Діаметр черв'ячної нарізки, що збільшується, дозволяє втягнути в кругове циркуляційне прямування велику масу матеріалу.

Для надання більшої динамічності процесу перемішування подачу і відключення ультразвукових коливань необхідно робити не одночасно на всі вібруючі елементи, а у визначеній послідовності.

В залежності від матеріалу, що перероблюється і режиму переробки частота коливань може бути в межах 1 – 40кГц із частотою модуляції 0,1 - 100Гц.

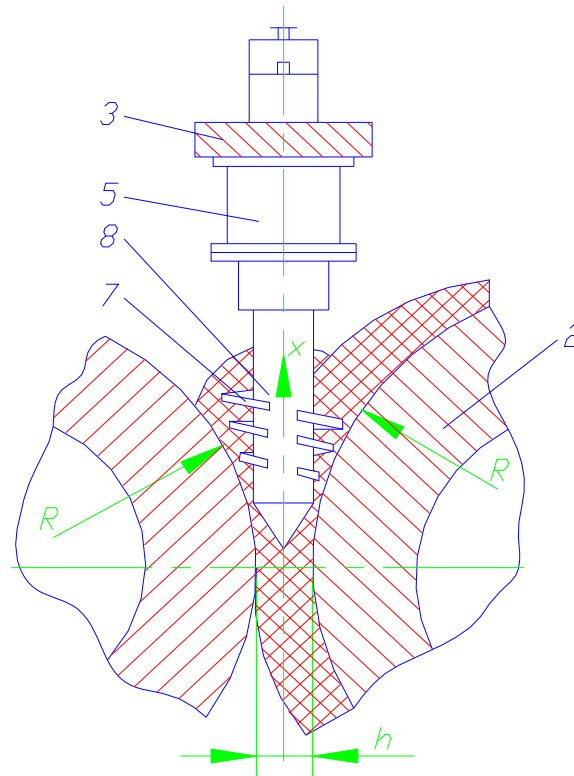


Рис. 4.4 Черв'ячний змішувальний елемент з ультразвуковим змішувачем.

5. Пристрій для регулювання запасу матеріалу, що подається на переробку, перед міжвалковим зазором [17].

Винахід відноситься до устаткування для переробки полімерного матеріалу і може бути використаний для регулювання подачі оброблюваного матеріалу перед зазором між валками каландра за допомогою датчиків для регулювання висоти, ширини і температури матеріалу.

Мета винаходу - підвищення якості матеріалу, що переробляється, при забезпеченні безперервності процесу каландрування. Для цього паралельно валкам 3 встановлений опорний елемент 2. На опорному елементі 2 встановлені датчики, які виконані у виді термошупів 7, 8 і 9 для взаємодії з оброблюваним матеріалом. Установлений по центру валків 3 термошуп 9 призначений для постійної взаємодії з оброблюваним матеріалом. Термошупи 7 і 8 попарно встановлені з торців валків і призначені для визначення максимального і мінімального запасів матеріалу. У кожній парі термошупи 7 і 8 виконані різними по довжині. Опорний елемент 2 має елементи 4 для регулювання його положення щодо валків 3, рис.4.1. Регулювання запасу матеріалу здійснюється при контактуванні з матеріалом одного з термошупів у кожній парі в торців

валків. При цьому між термощупами в кожній парі існує регульована різниця, що представляє собою межі заданої величини» При цьому термощуп у центрі валка забезпечує регулювання температури матеріалу в заданих межах.

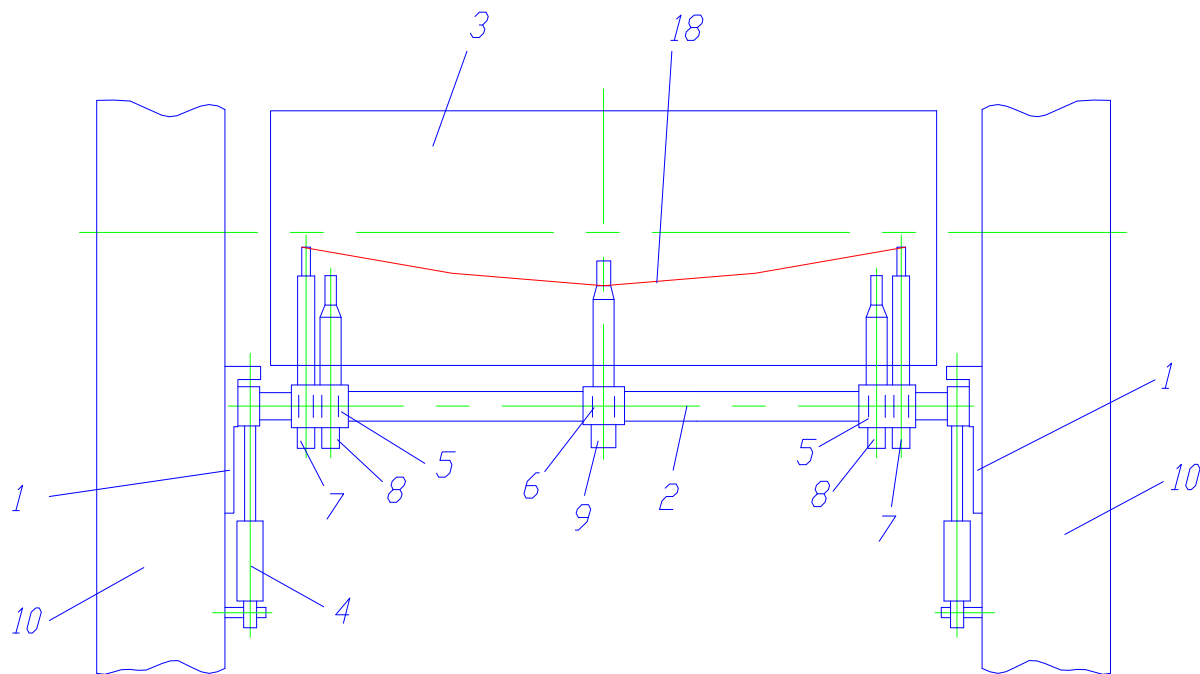


Рис.4.5. Схема пристрою для регулювання запасу матеріалу перед валками каландру.

## 6. Каландр [23].

В основу корисної моделі покладено задачу вдосконалити каландр, у якому спорядження його додатковим пристроєм регулювання міжвалкового проміжку забезпечує можливість разом з основним механізмом регулювання міжвалкового проміжку точного регулювання величини останнього, а отже і одержання високоточного по товщині плівкового, рулонного або листового виробу. Поставлена задача вирішується тим, що в каландрі новим є те, що між станиною і опорами щонайменше одного валка змонтовано вставки, виконані з матеріалу з температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР) більшим за ТКЛР матеріалу станини і споряджені засобами регулювання їх температури.

Каландр працює в такий спосіб.

Перед вмиканням урухомників валків 4-7 за допомогою механізмів 9 регулювання міжвалкового проміжку забезпечують потрібну відстань між валками 4 і 5, 5 і 6, 6 і 7 (див. рис. 4.6). Після початку обертання валків 4-7 на каландр подають перероблюваний матеріал, який, проходячи крізь міжвалкові проміжки, формується в рулонний виріб. За потреби зміни товщини готового рулонного виробу міжвалкові проміжки регулюють механізмами 9. При цьому найбільш точне регулювання товщини рулонного виробу здійснюють за допомогою змінювання температури вставок 10 (див. рис. 4.7).

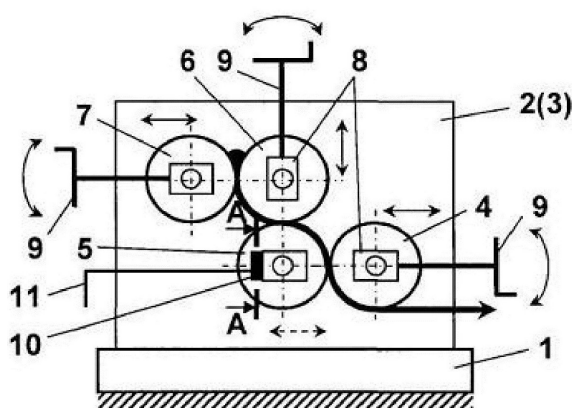


Рис. 4. 6. Каландр

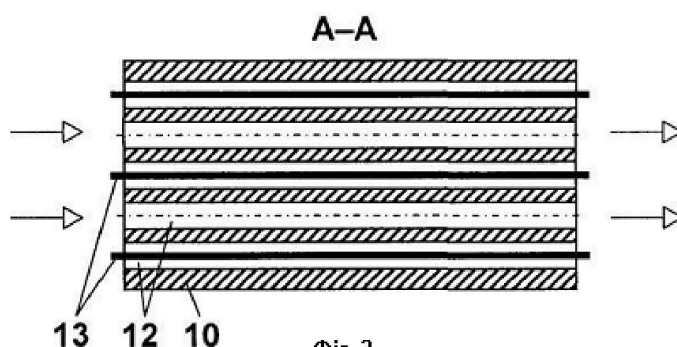


Рис 4.7. Вставка з високим коефіцієнтом лінійного розширення

#### 4.1 Обґрунтування запропонованої модернізації

Під час вдосконалення конструкції чотирьох валкового z-подібного каландра змін зазнав механізм регулювання перекоосу. А саме з метою підвищення ефективності роботи каландра і зменшення виходу бракованої продукції, а отже

збільшення річної продуктивності, була впроваджена модернізація механізму перекосу валків шляхом заміни конструкції «клин-гайка» на ексцентричну втулку встановлену між корпусом та зовнішнім кільцем підшипника з можливістю повороту (Авторське свідоцтво СРСР №1106662 кл. В29 В1/2 1971 р.) В конструкції передбачений датчик перекосу, а також кінцеві електровимикачі, що обмежують величину перекосу валків.

Також було вдосконалено конструкцію механізму регулювання зазору між валками, а саме в каландрі новим є те, що між станиною і опорами щонайменше одного валка змонтовано вставки, виконані з матеріалу з температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР) більшим за ТКЛР матеріалу станини і споряджені засобами регулювання їх температури. (Патент України №55177, кл. В29С 43/24, В29В 7/00, 2009 р.) Пропоноване технічне рішення істотно розширює технологічні можливості каландра та якість одержуваної продукції внаслідок більш точного регулювання зазору.

## 5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Головною ідеєю являється виготовлення високоякісної продукції, а саме реліну чи лінолеума. Висока якість забезпечується за рахунок того що механізм компенсації прогину валка вмонтовується в сам валок і дає змогу регулювати рівнотовщинність по всій ширині полотна.

Головною цільовою аудиторією являються: будівельні компанії, фармакологічні клініки, спортивні заклади та підприємства.

*Таблиця 5.1*

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виготовлення високоякісного реліну / лінолеуму по всій ширині полотна	Спортивні секції	Вища якість виготовленої продукції
	Тренажерні зали	
	Доріжки для бігу	
	Покриття для сходів	
	Покриття для даху	
	Суспільне призначення	
	Технічне призначення	
	Медичне призначення	

Головною відмінністю виготовлення даної продукції є забезпечення рівнотовщинності полотна по всій його довжині та ширині.

### 5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В даному розділі було проведено технологічний аудит в результаті якого було визначено можливість реалізації даного проекту.

Технологічна здійсненність ідеї проекту занесено до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Виготовлення покриття для підлоги	Виготовлення на каландрових агрегатах (полотна великих розмірів)	Технологія присутня на ринку але потребує доробки	Згідно проведеним розрахункам технологія має перспективи розвитку та є доступною
2	Виготовлення покриття для даху	Виготовлення на автоклавпресах агрегатах (невеликі за розмірами продукція)	Технологія присутня на ринку	Технологія доступна
Для реалізації даного проекту було обрано технологію №1				

Із таблиці 5.2 робимо висновок, що розвиток проекту має перспективи за рахунок удосконалення технології виробництва продукції, яка забезпечить вищу якість продукції.

### 5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту

Аналіз присвячений продукції маркетингового середовища яку можна охарактеризувати як промислове виробництво.

Товар, якому присвячено аналіз маркетингового середовища можна описати як:

- Розглядаються три рівні товару, його особливості. Товар за задумом: варіативність конструкцій та матеріалів. Товар у реальному виконанні: задалегіть виготовлена продукція. Товар з підсиленням: фото продукції з розміщенням її на біг-бордах та рекламою його в мережі Інтернет.

- Ринкова історія товару: з популяризацією і розвитком нових технологій і дизайнерських ідей. Велику популярність почали набирати товари, які більш відрізняються один від одного.



- Визначення етапу життєвого циклу товару: стадія зрілості (виходячи з практичного завдання 2).

Узагальнено розглядається динаміка розвитку галузі:

- Основні оператори ринку: 1) Tarkett; 2) Juteks; 3) Armstrong 4) Grabo
- Економічні та соціальні тенденції ринку: Ринок можна описати як стабільний та такий, що потребує вливання нових сил та ідей.
- Характеристики ринку: ринок даної продукції в Україні є великим та має тенденцію до подальшого збільшення, а більшість його споживачів розміщені в великих містах України або за кордоном. Конкуренція на цьому ринку велика, але використання нових ідей суттєво її зменшує.

Організацію системи менеджменту можна побачити на рис.1

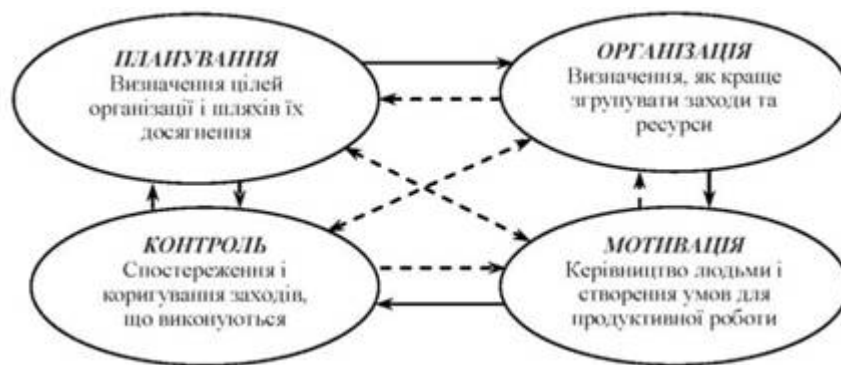


Рис.5.1 Система менеджменту

Ресурси які необхідні:

Фінансові – держ. кредит, вкладення інвесторів.

Виробничі та складські потужності – придбання лінії виробництва.

Технології – удосконалення існуючих.

Інформаційні – використання послуг рекламних агентств.

Трудові – постійні професійні працівники (75%) та наймані (25%).

Інтелектуальні – людські ресурси.

Правові – всі продукти і розробки охороняються законами про авторське право.

Проаналізувавши ринок виробництва лінолеуму в Україні за останні роки рис. 5.2 та рис. 5.3, можемо зробити висновок що дана продукція має великий попит.

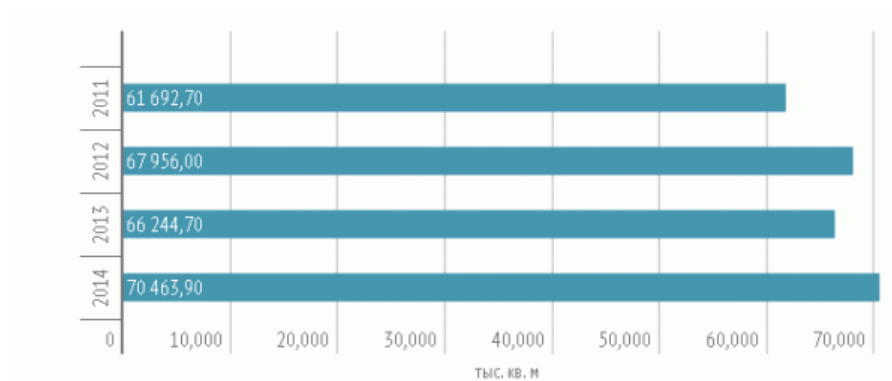


Рис. 5.2 Виробництво лінолеуму в Україні

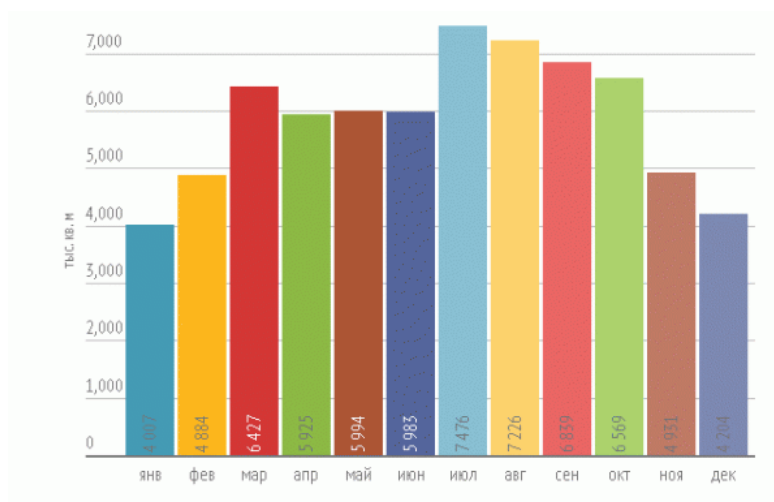


Рис. 5.3 Виробництво лінолеуму в Україні на 2016 рік

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту наведено в таблиці 3

Таблиця 5.3

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Безпека	Промислові виробництва, фармацевтичні компанії, спортивні заклади, будівні компанії	Ціна Якість Різноманіття в виборі продукції	До продукції: Співвідношення ціна/якість До компанії Швидкість, якість виробництва та доставки

Визначаємо основні фактори можливостей та загроз:

внутрішнього маркетингового середовища підприємства

фактор політико-правового середовища

фактор економічного середовища

фактор науково-технічного середовищ

фактор природного середовища

вплив споживачів

вплив постачальників

вплив конкурентів

Фактори внутрішнього маркетингового середовища підприємства занесено в таблицю 5.4

*Таблиця 5.4*

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми проблеми/можливості
	Можливості	Загрози	
Цільовий ринок	Високі ціни на кінцевий продукт	Потребує великих вкладів для входу на ринок	Збільшення кількості клієнтів за рахунок зменшення цін порівняно з конкурентами.
Територіальне базування компанії	—	Потребує велике приміщення	Відсутня можливість перенести офіс компанії будь-коли і будь-куди
Професійно-кваліфікаційний склад працівників	Не має потреби в великій кількості висококваліфікованих працівників	Високо-кваліфіковані кадри потрібні і мають бути добре забезпечені	За рахунок загальної економії на кваліфікації більшості співпрацівників забезпечити високі з/п кваліфікованим кадрам
Характер устаткування	Виробництво більш якісної продукції	Вихід із ладу агрегату	Великі початкові затрати.

Фактори політико-правового середовища занесено в таблицю 5.5

Таблиця 5.5

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Антимонопольні закони	Неможливість захоплення всього ринку однією компанією	Неможливість захоплення моєю компанією цілого ринку	Завжди наявне місце на ринку для розвитку нових представників, можливість зміни роботи ринку за рахунок нових технологій.
Міжнародні відносини з іншими країнами	Україна перебуває в гарних відносинах з більшістю країн	Ринки деяких країн закриті для збуту	Переміщення офісу в інші країни, зацікавленість інвесторів з інших країн.
Допомога держави.	Нові споживачі	-	Збільшення кількості кінцевих споживачів продукції
Закон України про рекламу	Дозволяє використовувати рекламу для додаткового доходу	-	Шляхом рішення може бути пошук недосконалостей і подальше їх використання.
Податки на капітал з закордону	-	Може відштовхнути інвесторів з інших країн	Рішенням може бути перекладання частини податків на себе.
Податкова система	Покращення матеріального стану країни	Грошові втрати	Пошук альтернативних доходів. Можливе перенесення в іншу країну.

Фактори економічного середовища занесено в таблицю 5.6

Таблиця 5.6

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Висока середня ціна, встановлена на ринку	Збільшує прибуток для компанії та дає змогу оперувати цінами.	Низька ціна може відштовхнути клієнта.	Можливість збільшувати ціну без значного збитку з боку клієнтів. Гарна реклама для приваблення клієнтів.
Платеспроможна цільова аудиторія	Велика кількість можливого прибутку від замовників	Фінансова неспроможність населення	Замовник готовий платити великі суми.
Висока конкуренція	Після зайняття свого місця в індустрії, впевненість в своїх силах.	Велика кількість конкурентів	Потрібно сконцентруватися на рекламі. Залежність від великих компаній
Високий вхідний капітал	Отримання держ. кредиту	Необхідність в великій кількості інвесторів	високий вхідний капітал
Термін окуплення	-	-	В залежності від кількості замовлень

Фактори науково-технічного середовища занесено в таблицю 5.7

Таблиця 5.7

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Використання революційних ідей.	Новітні технології, менш затратні та більш продуктивні.	Постійне оновлення та покращення технологічного	Використання заощаджених коштів для оновлення.

		комплексу	
Дорога автоматизація агрегату	Вища якість продукції	Висока ціна для купівлі готової системи	Аналіз ринку розробка нових конструкцій.
Постійний розвиток технологій.	Покращення роботи з її оновленням	Додаткові витрати для оновлення технологій	Може покращити якість

Фактори природного середовища занесено в таблицю 5.8

Таблиця 5.8

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Природні катаклізми.	Залежить від природних проблем	Вихід із ладу електромережі	Необхідність встановлення додаткових генераторів
Зміна клімату	-	Затрати на комунальні послуги.	Покращення технологій виготовлення виробів
Забруднення навколишнього середовища	Попит на матеріал відповідного характеру	Встановлення додаткових очисних фільтрів	Інвестування в розвиток «чистих» технологій.

Фактори впливу споживачів занесено в таблицю 5.9

Таблиця 5.9

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Зацікавленість споживачів в продукті.	Збільшення доходу	Велика кількість конкурентів	Зацікавленість як замовників так і споживачів кінцевого продукту веде до збільшення діапазону цін.
Великий попит на товар	Завжди є замовники	Конкуренція	Покращення реклами.

Безпосередній контакт з споживачем	Корегування якості продукту	Відмова від виробу	Пряме покращення продукції з огляду на споживача.
------------------------------------	-----------------------------	--------------------	---

Фактори впливу постачальників занесено в таблицю 5.10

Таблиця 5.10

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Постачальник матеріалу	Збільшення випуску готової продукції	Втрати по виготовленню продукції	Заручитися підтримкою декількох постачальників
Електроцентрально	Альтернативні джерела енергії	Відмова роботи всієї мережі	Зменшення загальної кількості використовуваної енергії.

Фактори впливу конкурентів занесено в таблицю 5.11

Таблиця 5.11

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Велика конкуренція на ринку	Підвищення ціни на продукт	Витіснення з ринку. Втрата клієнтів.	Покращення продукту, збільшення частки реклами.
Висока якість	Перевага для замовника, порівняно з іншими конкурентами	-	Зменшення ціни за рахунок використання нових технологій.
Більший час на ринку	Аналіз ринку для уникнення помилок конкурентів	Повільний розвиток	Закріплення на ринку у ролі лідерів

Особливості конкурентного середовища:

1. Тип конкуренції – олігополія
2. За рівнем конкурентної боротьби – національна
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева
4. Конкуренція за видам товарів – товарно-родова  
товарно-видова  
між бажаннями
5. За характером конкурентних переваг – нецінова
6. За інтенсивністю – не марочна

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером наведено в таблиці 5.12

Таблиця 5.12

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари замітники
	Tarkett; <u>Juteks</u> ; <u>Armstrong</u> ; <u>Grabo</u>	Заводи з виробництва лінолеуму / реліну	Компанії з виробництва синтетичного каучуку та різних домішок	Промислові виробництва, фармацевтичні компанії, спортивні заклади	Паркет, ламінат, в деяких випадках не можливо замінити
Висновки: так як в даній галузі уже присутні компанії які мають великий вплив на ринку, вихід на даний ринок буде важким але реальним, оскільки жодна з компаній не використовує подібної технології виробництва до запропонованої а отже не може виготовляти настільки якісну продукцію. Клієнтська база є дуже великою так як в деяких випадках дана продукція просто не замінна.					

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності наведені в таблиці 5.13

Таблиця 5.13

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Ціна	Можливість варіювати ціну за рахунок прибутку



2	Якість кінцевого продукту	За рахунок впровадження нової технології якість продукту збільшується
3	Якість компонентів	Більшість компаній економлять на цьому аспекті
4	Швидкість виробництва	Майже не відрізняється
5	Реклама	Важлива для швидкого виходу на ринк

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін наведено в таблиці 5.14

Таблиця 5.14

№	Фактор конкурентоспроможності	Рейтинг товарів конкурентів порівняно з МР (MAXPro)						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Ціна			♠	♦ ♥	♣		
2	Різноманіття кольорової гами			♥	♠ ♣	♦		
3	Якість кінцевого продукту	♣ ♠ ♥	♦					
4	Швидкість виробництва			♥	♦ ♠	♣		
5	Якість компонентів		♣ ♥	♠	♦			
6	Якість каучука			♠	♣ ♦ ♥			
7	Реклама			♠	♦ ♥	♣		
8	Різноманіття продукції			♠	♥ ♣	♦		
9	Доставка		♦	♠	♥		♣	
10	Можливість індивідуального замовлення				♣ ♠	♥	♦	
11	Металоемність конструкції	♣ ♥ ♠	♦					
12	Технологія виробництва	♠ ♣	♥ ♦					

♣ - Juteks

♦ - Tarkett

♥ - Grabo

♠ - Armstrong

Виходячи з даної таблиці маємо:

Слабкі сторони: можливість індивідуального замовлення та доставці

Сильні сторони: технологія виробництва, металоємність конструкції та якість кінцевого продукту

З цих даних робимо висновок, що підприємство має непогані перспективи розвитку, при необхідному фінансуванні а якщо зважати на нову технологію виготовлення, за допомогою якої зменшується металоємність конструкції та збільшується якість кінцевого продукту. При зменшенні металоємності конструкції агрегату, зменшується кількість запланованих ремонтів та їх складність, що дає змогу виготовляти більший об'єм продукції.

Формулювання управлінської проблеми. SWOT- аналіз подано в таблиці 5.15

Таблиця 5.15

<i><b>Сильні сторони</b></i>	<i><b>Слабкі сторони</b></i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Використання новітніх технологій</li> <li>-Порівняно не висока ціна готового продукту</li> <li>-вища якість продукції</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Велика кількість найманих працівників для співпраці</li> <li>-досвід</li> <li>-необхідність великого приміщення для роботи</li> <li>- великий стартовий капітал</li> <li>- велика кількість конкурентів</li> </ul>
<i><b>Можливості</b></i>	<i><b>Загрози</b></i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Привабливість застосування нових технологій, що пришвидшує виготовлення продукту.</li> <li>-Універсальність застосування технології в будь-якій країні</li> <li>-Великий діапазон для встановлення цін на продукт, що веде до збільшення прибутку</li> <li>-вихід на провідні позиції</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-у великих підприємств є своя база клієнтів яку необхідно буде переманити до себе</li> <li>- необхідність в капітало-вкладеннях</li> </ul>

Управлінська проблема: проблема пошуку клієнтів, пошук інвесторів.

Альтернативні шляхи вирішення управлінської проблеми/ реалізації управлінської можливості:

1. Підвищення якості та кількості реклами.
2. Встановлення зручного цінового діапазону.
3. Великий простір для реклами.
4. Отримання держ. кредиту
5. Залучення інвесторів

Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів подано в таблиці 5.16.

Таблиця 5.16

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
Підвищення якості та кількості реклами	Збільшення витрат на рекламу	Конкурентна перевага, збільшення кількості клієнтів.
Встановлення зручного цінового діапазону	Можливі втрати порівняно з максимально можливою ціною при встановленні мінімальної	Додатковий дохід при правильному використанні можливостей.
Держ. кредит	Можлива відмова	Кошти на розвиток підприємства під не великий відсоток.
Інвестори	Можлива втрата контрольного пакета акцій	Додаткові кошти на розвиток підприємства

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми є – збільшення долі реклами в загальному бюджеті підприємства та отримання держ. кредиту.

#### 5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Вибір цільових груп потенційних подано в таблиці 5.17.

Таблиця 5.17

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Поодинокі замовлення	70	2	Висока	Вхід в сегмент за рахунок вищої якості продукту
2	Держ. замовлення	50	3	Висока	Вхід в сегмент за рахунок вищої якості продукту
3	Підприємства	95	35	Висока	Вхід в сегмент за рахунок вищої якості продукту
4	Спортивні заклади	90	45	Висока	Вхід в сегмент за рахунок вищої якості продукту
5	Фармацевтичні компанії	60	15	Висока	Вхід в сегмент за рахунок вищої якості продукту

Визначення базової стратегії розвитку подано в таблиці 5.18.

Таблиця 5.18

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	<i>Стратегія диференціації</i>	<i>Ексклюзивний розподіл</i>	<i>Відмітні властивості товару та варіативність конструкцій</i>	<i>Стратегія розвитку</i>

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки подано в таблиці 5.19.

Таблиця 5.19

№	Чи є проект першопроходцем на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента і які?	Стратегія конкурентної поведінки?

1	ні	Компанія буде шукати нову цільову аудиторію та паралельно забирати споживачів у конкурентів	ні	наступальна війна (Фланговий наступ)
---	----	---	----	---

*Фланговий наступ.* Гарний фланговий маневр має бути спрямований на незвідану територію, тактичний сюрприз має стати важливим елементом плану, а переслідування конкурента так само важливе, як і атака. Наприклад, конкуренти IBM Honeywell у США розгорнули свою діяльність у віддалених штатах, які випали з поля зору лідера. Флангову атаку можна проводити низькою ціною, високою ціною (літаки та годинники Concord, автомобілі Mercedes та ін.), малим калібром (класичний приклад — автомобілі «фольксвагенжук», малолітражні автомобілі), великим калібром, формою товару, меншою кількістю калорій.

Визначення стратегії позиціонування подано в таблиці 5.20.

Таблиця 5.20

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренти о□ спроможні позиції власного стартап□ проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	різноманітність, практичність, ціна, якість.	Стратегія розвитку	Якість, варіативність конструкцій,	Якість Практичність

### 5.5 Розроблення маркетингової програми стартаппроекту

Ключові переваги концепції потенційного товару наведено в таблиці 5.21

Таблиця 5.21

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі
---------	----------------------------	--

		або такі, що потрібно створити
Покриття для підлоги та даху	Висока якість	Забезпечення рівнотовщинності продукту

Опис трьох рівнів моделі товару наведено в таблиці 5.22

Таблиця 5.22

Обрана альтернатива розвитку проекту	Сутність та складові
I. Товар за задумом	покращення якості готового продукту, зменшення металоємності агрегату, збільшення виробництва за рахунок зменшення кількості планових ремонтів.
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	Каландр з модернізованим механізмом прогину валка, механізм вмонтовується в валок
	1. Надійність 2. Енерго- та ресурсозбереження 3. Інноваційність технології 4. Зменшення габаритів конструкції
	Якість: відповідає Європейським нормам та ДСТУ.
III. Товар із підкріпленням	Марка: «MAXPRO»
	До продажу:
	Вибір продукції
	Після продажу:
	доставка
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок нової технології виготовлення	

Формування системи збуту наведено в таблиці 5.23

Таблиця 5.23

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти хочуть	Гарантія	Нульовий рівень.	Власна

	на власні очі бачити продукцію перед закупівлею, потребують доставки, консультацій	Доставка	Підприємство виготовляє повністю готовий і якісний продукт	система збуту з залученням реклами та мас-медіа
--	--	----------	--	---

Концепція маркетингових комунікацій наведено в таблиці 5.24

Таблиця 5.24

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтована на швидке та ефективно спілкування, бажано спеціалізоване	Спілкування як онлайн (сайти, соц. мережі) так і офлайн (зустрічі, телефонні розмови, виставки тощо). Друкована продукція (каталоги, спецвидання). Документальне оформлення домовленостей	Якість залежить від ціни; Тривале партнерство = лояльні ціни; Вчасно, ефективно і економно.	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних (розрахунки, графіки, діаграми). Призначення зустрічей.

### Висновки

В процесі розробки стартап проекту було розроблено висновки, що можлива ринкова комерціалізація проекту. На користь цього свідчить наявність попиту, що виражена потребою.

У проведеному аналізі було визначено стратегії збуту послуг, та вплив основних факторів на попит послуг, які надаються нашим проектом. Та згідно отриманих даних у нашого проекту є:

- можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки надані послуги наявний попит, динаміка ринку, рентабельність роботи на ринку;
- перспективи впровадження для потенційних груп клієнтів, таких як малі, середні підприємства, що займаються переробкою полімерних матеріалів та суміжні підприємства;
- для ринкової реалізації проекту альтернативою впровадження доцільно обрати створення наукових семінарів та брати участь на виставках в даній сфері.



## 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 6.1. Характеристика проектного об'єкта і місця його впровадження

Згідно закону про охорону праці України на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі і безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками.

Технічне завдання дипломного проектування передбачає розрахунок і проектування каландра для переробки пластмас, для підприємств хімічної промисловості. Створення здорових і безпечних умов праці на підприємстві обумовлюють необхідність раннього виявлення шкідливих і небезпечних факторів, для того щоб на стадії проектування намітити заходи, які слід проводити для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Каландр для переробки пластмас використовується для виготовлення лінолеуму з різних композицій полімерних матеріалів з інгредієнтами і рівномірного розподілення останніх в його масі, не порушуючи пропорцій, приписаних технологією.

Цех має свою замкнуту систему каналізації, при якій стік очищається в локальних очисних пристроях (з утилізацією забруднюючих речовин) і у водойму не скидаються, а повертається в систему підприємства і цеху.

Установку параметрів технологічного процесу і контроль здійснюють два оператори. Пульти операторів знаходяться у виробничому приміщенні.

Площа приміщення:

$$S_n = 80 \cdot 35 = 2800 \text{ м}^2$$

### 6.2. Характеристика можливих небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

При гранулюванні гумових сумішей та пластифікованих каучуків на організм обслуговуючого персоналу можливий вплив різних шкідливих і небезпечних виробничих факторів, відповідно до ГОСТ 12.0.003-78, таких як:

- підвищена запиленість і загазованість повітря в робочій зоні – залишкові мономіри каучуку, оксид вуглецю й ін. продукти термодеструкції окремих речовин;
- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі: 380/220 В., що може привести до місцевих і загальних поразок організму людини (поразка шкірного покриву й ін., електроудари);
- недостатня освітленість робочої зони збільшує стомлюваність, робітник погано орієнтується у виробничій обстановці, що може привести до утворення небезпечних ситуацій;
- промисловий внутрішньоцеховий транспорт може привести до шляхово-транспортних травм різного ступеня важкості;
- підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці утворюють значне навантаження на нервову і серцево-судинну системи людини, органи слуху, травлення й ін.;
- частини обладнання, які рухаються, (черв'як, редуктор і ін.) – може відбутися затягування верхнього одягу, рук і приводити до важких механічних травм;
- підвищена температура поверхонь устаткування (до  $+75^{\circ}\text{C}$  , яка може привести до опіків підвищеному нагріванню повітря в приміщенні, конденсації водяної пари в повітрі і на стінках приміщення);
- підвищена температура повітря в робочій зоні ( $34-38^{\circ}\text{C}$ ) приводить до розладу нормальної терморегуляції організму і, як наслідок: теплове виснаження, судороги і ін.

При роботі установки відбувається переробка гуми та каучуків. При цьому виділяються шкідливі речовини, що по ступені впливу на організм людини відносяться до 2-4 класу небезпеки .

### **6.3 Промислове освітлення**

Для нормальної роботи обслуговуючого персоналу відповідно до норм ДБН В 2.5.28-2006 передбачається сумісне освітлення, тобто коли природне освітлення доповнюється штучним, для освітлення приміщення в години, коли

природне освітлення відсутнє, або його недостатнє. Природне освітлення передбачається бічне, через світлові прорізи в зовнішніх стінах.

Штучне освітлення передбачене загальне, рівномірне, робоче й аварійне . Робоче освітлення передбачене для загального освітлення площі цеху. Аварійне освітлення передбачене для забезпечення мінімальної освітленості у виробничому приміщенні на випадок раптового відключення робочого освітлення й зв'язане з цим порушення нормального обслуговування устаткування й механізмів, що може викликати тривале порушення технологічного процесу й ін .

Освітленість робочої зони установки, створювана світильниками загального і місцевого освітлення повинна відповідати ДБН В 2.5.28-2006. При V розряді зорових робіт вибираємо світильник ДРЛ-250, потужністю 125 Вт,  $F=9500$  лм. Встановлюємо в приміщенні 105 світильників, що дасть  $E_{ef} = 200$  лк. Мінімальна нормативна освітленість для даного розряду роботи  $E_{min} = 150$  лк. Оскільки  $E_{ef} > E_{min}$ , приміщення відповідає нормам ДБН В 2.5.28-2006.

#### 6.4 Характеристики вентиляційної системи

Відповідно до ДБН Д.2.2-20-99 у приміщенні передбачена природна і механічна вентиляція. Природний рух повітря в приміщенні відбувається внаслідок різниці його щільності поза і усередині приміщення (тепловий тиск), а також під дією вітру. Вентиляція відбувається через вентиляційні прорізи, й фрамуги приміщення.

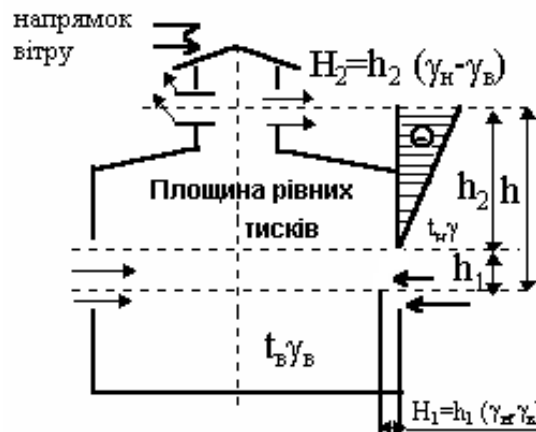


Рис. 6.1. Розподіл тиску в приміщенні

Вітровий тиск, який утвориться з підвітряної сторони приміщення і розрядження, яке утвориться з підвітряної сторони будинку розраховується по формулі:

$$H_1 = a \cdot \frac{V^2 \cdot \gamma}{2 \cdot q} \text{ Н/м}^2, \quad (6.3)$$

де  $a$  – аеродинамічний коефіцієнт, який залежить від конструкції будинку (він складає 0,7..0,65 на навітряній стороні будинку і 0,3..0,45 на завітряній стороні);

$V$  – швидкість руху вітру, приймаємо  $V=5$  м/с;

$\gamma$  – питома вага повітря,  $\gamma=1,39$  Н/м<sup>3</sup>;

$q$  – прискорення вільного падіння,  $q=9,81$  Н/с<sup>2</sup>

Тоді:

$$H_1 = 0,7 \cdot \frac{5^2 \cdot 1,39}{2 \cdot 9,81} = 1,24 \text{ Н/м}^2$$

$$H_2 = 0,45 \cdot \frac{5^2 \cdot 1,39}{2 \cdot 9,81} = 0,79 \text{ Н/м}^2$$

Параметри зовнішнього повітря  $t_n=23^\circ\text{C}$ ,  $d_n=10$  г/кг,  $\rho_n=1,16$  кг/м<sup>3</sup>

Надлишок явної теплоти  $Q_{36}=265$  кВт, висота цеху  $H=10$  м.

Температура повітря в робочій зоні:

$$t_{p.z.} = t_n + \Delta t_p = 23 + 5 = 28^\circ \quad (6.4)$$

$\Delta t_p$  – робоча різниця температур,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta t_p=5^\circ\text{C}$ ;

Кількість подаваного повітря для забезпечення заданої температури в робочій зоні:

$$G = \frac{m \cdot Q_{36}}{C \cdot \Delta t_p}, \quad (6.5)$$

де  $m$  – коефіцієнт виділення теплоти в робочу зону,  $m=0,4$ ;

$C$  – температурний градієнт,  $C=1,0$ .

$$G = \frac{0,4 \cdot 255}{1,0 \cdot 5} = 21,2 \text{ кг/с}$$

Температура повітря яке виходить:

$$t_{\text{вих}} = t_n + \frac{Q_{\text{зб}}}{C \cdot G}, \quad (6.6)$$

$$t_{\text{вих}} = 23 + \frac{265}{1 \cdot 21,2} = 35,32^\circ \text{C}$$

Приймаємо умову, що нейтральна площина поділяє приміщення на рівні частини, тобто  $h_1 = h_2 = 5$  м

Середня температура по висоті приміщення:

$$t_a = 0,5 \cdot (t_{\text{п.з.}} + t_{\text{вих}}), \quad (6.7)$$

$$t_a = 0,5 \cdot (28 + 35,32) = 31,7^\circ \text{C}$$

Щільність повітря при  $d_a = 10$  г/кг і  $t = 35,32^\circ \text{C}$   $\rho_a = 1,13$  кг/м<sup>3</sup>

Швидкість повітря в нижніх приточних прорізах:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot h_1 \cdot (\rho_n - \rho_a) \cdot q}{\rho_a}}, \quad (6.8)$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot (1,16 - 1,13) \cdot 9,81}{1,16}} = 1,59 \text{ м/с}$$

Швидкість повітря в аераційному ліхтарі:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot h_2 \cdot (\rho_n - \rho_a) \cdot q}{\rho_a}}, \quad (6.9)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot (1,16 - 1,13) \cdot 9,81}{1,13}} = 1,61 \text{ м/с}$$

Площа прорізів знаходиться по формулі:

$$F = \frac{G}{\mu \cdot V \cdot \rho}, \quad (6.10)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати, який залежить від конструкції затворок переплету в проїмі і кута відкриття затворки (для затворки переплету, відкритої на  $30^\circ$  в середньому можна прийняти  $\mu=0,32$ );

Звідси площа нижніх прорізів:

$$F_1 = \frac{21,2}{0,417 \cdot 1,59 \cdot 1,16} = 27,56 \text{ м}^2$$

Площа верхніх прорізів:

$$F_2 = \frac{21,2}{0,417 \cdot 1,61 \cdot 1,13} = 27,94 \text{ м}^2$$

Обсяг повітря, яке проходить через прорізи:

$$L_1 = \mu \cdot F_1 \cdot \gamma \cdot 3600 \quad (6.11)$$

$$L_2 = \mu \cdot F_2 \cdot \gamma \cdot 3600 \quad (6.12)$$

$$L_1 = 0,417 \cdot 27,56 \cdot 1,39 \cdot 3600 = 57508,57 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_2 = 0,417 \cdot 27,94 \cdot 1,39 \cdot 3600 = 58301,50 \text{ м}^3/\text{год}$$

Облік кількості та вміст викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище є необхідною умовою боротьби за збереження її чистоти, боротьби за здоров'я людини.

## 6.5 Електробезпека

Для запобігання випадків поразки електричним струмом персоналу, проектом передбачене контурне захисне заземлення – навісне електричне з'єднання з землею металевих частин електроустаткування (корпусів, станин і т.п.) які у нормальних умовах; не знаходяться під напругою, але які можуть виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції електроустановки, різних несправностей й ін.

Для штучного заземлення проектом передбачено застосування вертикальних електродів. Вертикальні електроди являють собою сталеві труби діаметром 40 мм і довжиною 2,5 м.

Для зв'язку вертикальних електродів застосовується сталь прямокутного перетину  $3 \times 40$  мм.

Заземлювач розташовується в ґрунті по контуру (рис. 6.2)

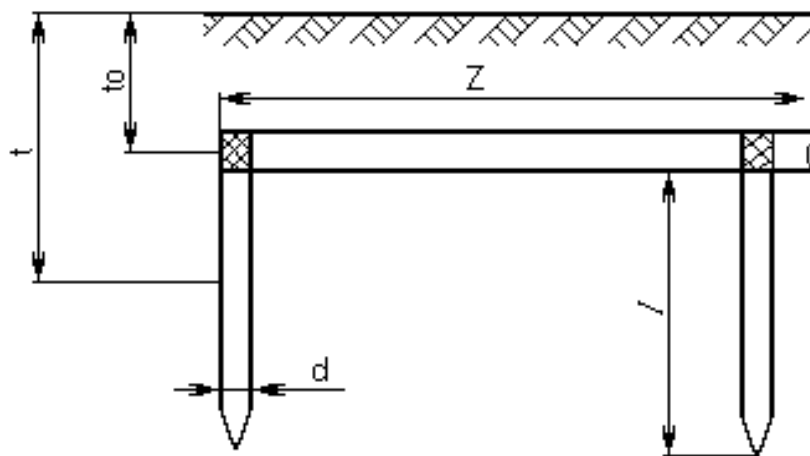


Рис. 6.2 Схема розташування заземлювачів

Опір розтіканню струму одного трубного електрода визначається за формулою:

$$R_{cmp} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right), \quad (6.13)$$

де  $l$  – довжина електрода, м;

$d$  – діаметр електрода, м;

$\rho$  – питомий опір ґрунту;

$t$  – глибина розташування середини електрода від поверхні ґрунту, м:

$$t = t_o + \frac{l}{2}, \quad (6.14)$$

де  $t_o$  – відстань від верхньої точки заземлювача до поверхні ґрунту, м.

Приймаємо  $t_o = 0,9$  м;  $l = 2,5$  м;  $d = 0,04$  м;  $\rho = 300$  Ом·м

Тоді:

$$t = 0,9 + \frac{2,5}{2} = 2,15 \text{ м}$$

$$R_{cmp} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,04} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{4 \cdot 2,15 + 2,5}{4 \cdot 2,15 - 2,5} \right) \right) = 97,82 \text{ Ом}$$

Отримане  $R_{cmp} > R_{дон}$ , тому потрібно декілька заземлювачів, попередньо:

$$n' = \frac{R_{cmp}}{R_{дон}}, \quad (6.15)$$

де  $R_{дон}$  – допустимий опір. При напрузі в мережі <1000 В,  $R_{дон}=4$  Ом; ДНАОП 1.1.10 – 1.01– 97.

Тоді:

$$n' = \frac{97,82}{4} = 24,45 \text{ шт.}$$

приймаємо  $n'=25$  шт.

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням екранування:

$$n = \frac{n'}{\eta_0}, \quad (6.16)$$

де  $\eta_0$  – коефіцієнт використання трубних заземлювачів, який враховує взаємне екранування,  $\eta_0=0,6975$

$$n = \frac{25}{0,6975} = 35,84 \text{ шт.}$$

приймаємо  $n=36$  шт.

Опір розтіканню струму з'єднуючої смуги визначаємо по формулі:

$$R_n = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot z} \cdot \frac{2 \cdot z^2}{b \cdot t_0}, \quad (6.17)$$

де  $b$  – ширина смуги приймаємо  $b=0.04$  м;

$z$  – довжина смуги, яка з'єднує вертикальні стрижневі електроди, м;



$$z = a \cdot n \cdot l, \quad (6.18)$$

$a$  – відношення відстані між заземлювачами до довжини заземлювача, приймаємо  $a=3$ ;

$$z = 3 \cdot 36 \cdot 2,5 = 270 \text{ м};$$

$$R_{II} = \frac{300}{2 \cdot \pi \cdot 270} \cdot \ln \frac{2 \cdot 270^2}{0.04 \cdot 0.9} = 2.69 \text{ Ом};$$

Опір групового заземлювача, який складається з вертикальних заземлювачів і з'єднуючої їх смуги, визначається по формулі:

$$R_{zp} = \frac{R_{cmp} \cdot R_n}{R_{cmp} \cdot \eta_n + R_n \cdot \eta_o \cdot n}, \quad (6.19)$$

де  $\eta_n$  – коефіцієнт використання горизонтальної смуги, яка з'єднує вертикальні заземлювачі,  $\eta_n=0,402$

Тоді:

$$R_{zp} = \frac{97,82 \cdot 2,69}{97,82 \cdot 0,402 + 2,69 \cdot 0,6975 \cdot 36} = 2,46 \text{ Ом}$$

Порівнюючи отримане і припустиме значення (за ГОСТ 12.1.030-87), бачимо що  $R_{гр} < R_{доп}$ , отже, дане заземлення, задовольняє вимогам електробезпеки.

Крім заземлення, огорожень і блокувань також передбачене застосування: попереджувальної сигналізації електрозахисних засобів, знаків безпеки, допоміжних захисних засобів.

## 6.6 Характеристика виробництва по пожежо- і вибухонебезпечності

Цех для виготовлення лінолеуму – виробництво насичене електродвигунами, різного виду електроосвітлювальними приладами,

пускорегулюючою апаратурою і т.д. Усе це обладнання джерелом запалення навколо їх пожежі- і вибухонебезпечного середовища, тому що вони можуть нагріватися чи іскрити. У зв'язку з цими обставинами до конструкції електроустаткування, правилам його експлуатації, нагляду і ремонту висуваються підвищені вимоги.

У цеху використовуються пально-мастильні матеріали: компресорні мастила, каучук та гумові суміші, солідол. Температура загоряння та самозаймання відповідно: компресорного мастила 275°C-260°C, солідолу 590°C-530°C.

По "Правилах устрою електроустановок" лінія призначена для експлуатації в пожеже небезпечних зонах класу П-Іа. Категорія виробництва "В" по НАПБ Б. 07.005-86.

Пожеже небезпека технологічних процесів у значній мірі визначається фізико-хімічними властивостями сировини, проміжних і кінцевих продуктів, які беруть участь у виробництві.

У цеху пожежа може відбутися від електричної іскри, при короткому замиканні, при підвищенні температури речовини до температури спалаху, запалення від розряду статичної електрики і грозових розрядів, самозаймання обтирального матеріалу й ін.

### **6.7 Боротьба з надзвичайними ситуаціями на виробництві.**

Надзвичайна ситуація може виникнути при використанні та зберіганні легкозаймистих речовин поблизу лінії виробництва. План-схема евакуації внаслідок надзвичайної ситуації наведена на Рисунку 7.3. В цеху знаходяться 2 балони зі стисненим ацетиленом на випадок проведення зварювальних робіт.

Балони призначені для зберігання газів і є небезпечними незалежно від того чи газ є горючим чи ні. Ймовірними причинами вибуху балона можуть стати: падіння балону, неправильне заправлення чи перенесення, контакт газу з маслом, накопичення іржі (виявляють промиванням дихлоританом). Коли з балону випускають газ, то залишають  $P=0,5\text{МПа}$  для того аби можна було взяти пробу для аналізу газу.

Серед причин, що можуть призвести до загорання, відзначимо найімовірніші:

- несправність електроживлення;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- використання відкритого вогню в неналежному місці;
- застосування легкозаймистих речовин, їхнє зберігання поблизу

установки.

Запобігання запаленням забезпечується такими заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- догляд за територією відповідно до вимог пожежної безпеки;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління у спеціальних місцях;
- своєчасне проведення інструкцій серед обслуговуючого персоналу;
- організація наочної агітації з техніки безпеки;
- вчасна перевірка устаткування, особливо електричного;
- дотримання вимоги на засоби пожежогасіння;
- наявність пожежної сигналізації (датчик КІ-1, приймальна станція

РУОП-1).

Для гасіння невеликих вогнищ, запалень застосовують порошкові вогнегасники з речовинами ОПС-10 і ОППС-100. У цеху на відстані 30 м один від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами по 10 м. Також у виробничому приміщенні встановлені стаціонарні установки пожежогасіння САМ-9 (порошок вогнегасний ДСТУ 3105), які при підвищенні температури до 72 °С відкривають спринклери. Захисна площа становить не менше 12 м<sup>2</sup>.

Відстані до пожежних евакуиходів – 35 м, кількість виходів – 3.

Ширина прорізу для дверей евакуиходів – 2,5 м згідно з СНиП 2.09.02-85.

Із засобів індивідуального захисту на підприємстві знаходиться протитеплова куртка ТК-50. План-схема евакуації зображена на рисунку 6.3.

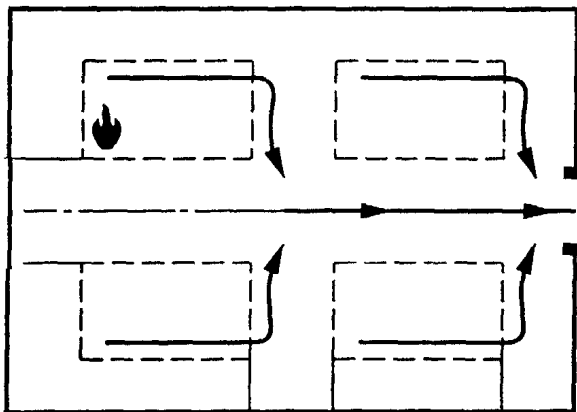


Рисунок 6.3 – План-схема евакуації

### 6.7 Висновки

Застосування засобів, заходів для усунення небезпечних шкідливостей на виробничому місці є невід’ємною частиною охорони праці. Тому належне виконання цих заходів та відповідальне ставлення операторів та керівництва дозволяє знизити можливість небезпек та травм на виробництві.

## Література

1. Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей. Лукач Ю.Е., Рябинин Д.Д., Метлов Б.Н. Москва. Машиностроение 1967г.-295с.
2. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В.А.: Учебник для вузов.-М.:Химия,1986.-488с.
3. Примеры и задачи по курсу оборудование заводов химической промышленности. Козулин Н.А., Соколов В.Н., Шапиро А.Я. Москва. Машиностроение 1966г.
4. Оборудование для переработки пластмасс. Завгородний В.К. Москва. Машиностроение 1976г.
5. ГОСТ 2.105-79. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
6. ГОСТ 2.106-68. ЕСКД. Текстовые документы.
7. ГОСТ 8.417-81 /СТ СЭВ 1052-78/. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.
8. Методические указания и контрольные задания по дисциплине “Основы надежности и долговечности машин”. Вероятностные расчеты надежности деталей машин. Насонкин Г.А. Киев. КПИ 1981г.
9. Методичні вказівки до самостійної роботи з дипломного проектування. Насонкін Г.О., Нестеров В.Г., Сивецький В.І., Щербина В.Ю., Київ. КПІ 1992р.
10. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту. Розенплентер А.Е., Панішева Т.В. КИЇВ КПІ 2001р.
11. Бизнес. Прайс-листы. №44, 29 октября 2005 года. КИЕВ.
12. Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах и работах студентов специальностей факультетов химического машиностроения и химико-технологического. В.Ф. Селедцов, А.Т. Орленко, З.С. Ступицкая, .М.А. Халимовский, Киев КПИ, 1979г.
13. Прайсы. №46 12-18 ноября 2008 года. КИЕВ.
14. Технологічні виміри і прилади для хімічних виробництв. Куркулів М.В., Москва Машинобудування 1983р.
15. Основы автоматики й автоматизації хімічних виробництв. Москва. Хімія 1965р.

16. Автоматичні прилади й обчислювальні системи. Довідковий посібник за редакцією Кошарського Б.Д. Ленінград. Машинобудування 1976р.

17. Пристрій для регулювання запасу матеріалу, що подається на переробку, перед міжвалковим зазором. Авторське свідоцтво ФРН №141741, кл. В29Д7/14, 1971р.

18. Пристрій для валкових машин для інтенсифікації процесу перемішування матеріалу у валковому зазорі. Авторське свідоцтво СРСР №954238, кл. В29 В7/60, 1981р.

19. Пристрій для обрізки листового матеріалу. Авторське свідоцтво ФРН №2450225, кл. В29Д7/14, 1976р.

20. Валок до каландрів для переробки полімерних матеріалів

Авторське свідоцтво СРСР №954238, кл. В29 В7/60, 1981

21. Валок для валкових машин. Авторське свідоцтво СРСР №1412981, кл. В29 В7/52, 1987

22. Механізм регулювання перекосу валків. Авторське свідоцтво СРСР №1106662 кл. В29 В1/2 1971 р.

23. Каландр. Патент України №55177, кл. В29С 43/24, В29В 7/00, 2009 р.

## ***РОЗРАХУНКИ***

# РОЗРАХУНКИ

## Зміст

Стор.

1 Розрахунки, які підтверджують працездатність та основні геометричні розміри конструкції.....	
1.1 Параметричні розрахунки.....	
1.1.1 Визначення розпірних зусиль та сумарної технологічної потужності.....	
1.1.2 Розрахунок універсального шпинделя.....	
1.1.2.1 Розрахунок вилки.....	
1.1.2.2 Розрахунок хрестовини.....	
1.1.2.3 Розрахунок шпонки.....	
1.1.2.4 Розрахунок шліців універсального шпинделя.....	
1.2 Тепловий розрахунок валка каландра.....	
1.3 Розрахунки міцності конструкції.....	
1.3.1 Розрахунок валка на міцність.....	
1.3.2 Визначення розподілу напруги та деформації, які розвиваються у стінці валка в залежності від радіуса за допомогою програми на мові C++.....	
1.3.3 Розрахунок валка за допомогою програми “Весна”.....	
2 Розрахунки, що підтверджують надійність конструкції.....	
2.1 Розрахунок довговічності підшипників валка.....	
2.2 Розрахунок довговічності підшипників універсального шпинделя.....	
3 Література.....	

					ЛПз71мн.057256.01-70РР		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Каландр з-подібний з модернізацією механізмів регулювання зазору		
Розроб.		Меріков М.О.					
Перевір.							
Керівник		Сідоров Д. Е.					
Н. Контр.							
Затверд.		Б о р щ и к			КПІ ім. Сікорського, ІХФ		



# 1 РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТА ОСНОВНІ ГЕОМЕТРИЧНІ РОЗМІРИ КОНСТРУКЦІЇ.

## 1.1 Параметричні розрахунки

### 1.1.1 Визначення розпірних зусиль та сумарної технологічної потужності

Величина калібруючого зазору визначається за формулою:

$$h''_k = \frac{t_{nl}}{\delta_1} \quad (1.1)$$

де  $t_{nl} = 1,2$  мм – товщина каландрованого листа;

$\delta_1 = 1,22$  – коефіцієнт.

$$h''_k = \frac{1,2}{1,22} = 0,983 \text{ мм.}$$

Величина початкового зазору:

$$h_k = \frac{(1+f)(1+f_2+f_2^2)}{f_1 \cdot f_2 (1+f_2)(1+f+f^2)} h''_k \quad (1.2)$$

де  $f$  - фрикція між першим і другим валками,  $f = 2$ ;

$f_1$  - фрикція між другим і третім валками,  $f_1 = 0,5$ ;

$f_2$  - фрикція між третім і четвертим валками,  $f_2 = 2$ .

$$h_k = \frac{(1+2)(1+2+2^2)}{0,5 \cdot 2(1+2)(1+2+2^2)} 0,983 = 0,983 \text{ мм.}$$

Проміжний зазор визначається за формулою:

$$h'_k = \frac{f_1(1+f_1)(1+f+f^2)}{(1+f)(1+f_1+f_1^2)} h_k \quad (1.3)$$

$$h'_k = \frac{0,5(1+0,5)(1+2+2^2)}{(1+2)(1+0,5+0,5^2)} 0,983 = 0,983 \text{ мм.}$$

Параметр  $\Delta$  визначаємо за формулою

$$\Delta = 1 + \frac{2R}{h_k} (1 - \cos \alpha), \quad (1.4)$$

де  $\alpha$  – кут захвату,

$$\cos \alpha = 1 - \frac{9,5}{R} h'_k, \quad (1.5)$$

де  $R = 355$  мм – радіус валка;

$h_k = 0,983$  мм – величина початкового зазору;

$$\cos \alpha = 1 - \frac{9,5}{355} 0,983 = 0,957$$

$$\alpha = 16^\circ 55' \approx 17^\circ$$

$$\Delta = 1 + \frac{710}{0,983} (1 - 0,957) = 32$$

Розпірне зусилля в завантажувальному зазорі каландра

$$P_1 = \frac{3 k \alpha_{ef}^n \mathcal{G}_1^n (1 + f) RL Bi}{8 \alpha_{ef} h_k}, \quad (1.6)$$

де  $k = 1,265$  – реологічна константа;

$n = 0,232$  – безрозмірний коефіцієнт, індекс течії;

$T = 0,781$  – коефіцієнт.

$$\alpha_{ef} = \frac{3(1 + f)T}{2 h_k \sqrt{\Delta - 1}}, \quad (1.7)$$

$$\alpha_{ef} = \frac{3(1 + 2)0,781}{2 \cdot 0,0983 \sqrt{32 - 1}} = 6,42$$

$v_1 = 30$  м/хв =  $0,5$  м/с – швидкість обертання валка;

$f = 2$  – фрикція;

$L = 180$  – робоча довжина валка.

Розпірне зусилля

$$P_1 = \frac{3 \cdot 1,265 \cdot 6,42^{0,232} \cdot 0,5^{0,232} \cdot (1 + 2) 35,5 \cdot 180 \cdot 2,776}{8 \cdot 6,42 \cdot 0,0983} = 644820 \text{ Н}.$$

Розпірне зусилля в проміжному зазорі

$$P_2 = \frac{3 Bi k (\alpha'_{ef})^{n-1} \cdot \mathcal{G}_1^n (1 + f) (1 + f_1 + f_1^2) RL}{8 h_k f_1^{n+1} (1 + f + f^2)}, \quad (1.8)$$

де  $Bi = 2,776$  – коефіцієнт;

$$\alpha'_{ef} = \frac{3(1 + f_1)T'}{2h'_k \sqrt{\Delta - 1}}, \quad (1.9)$$

$T' = 0,821$  – безрозмірний коефіцієнт;

$$\alpha'_{ef} = \frac{3(1 + 0,5)0,821}{2 \cdot 0,0983 \cdot \sqrt{32 - 1}} = 3,375$$

$f_1 = 0,5$  – фрикція,

$$P_2 = \frac{3 \cdot 2,776 \cdot 1,265 \cdot 3,375^{-0,768} \cdot 0,5^{0,232} \cdot (1+2)(1+0,5+0,5^2) \cdot 35,5 \cdot 180}{8 \cdot 0,0983 \cdot 0,5^{1,232} \cdot (1+2+2^2)} = 144100 H$$

Розпирне зусилля в калібруючому зазорі

$$P_3 = \frac{3Bik(\alpha''_{ef})^{n-1} \cdot g_1^n (1+f)(1+f_1+f_1^2)RL}{8h_k f_1^{n+1} \cdot f_2^{n+1} (1+f+f^2)}, \quad (1.10)$$

$T'' = 0,862$  – безрозмірний коефіцієнт;

$$\alpha''_{ef} = \frac{3(1 + f_2)T''}{2h''_k \sqrt{\Delta - 1}}, \quad (1.11)$$

$$\alpha''_{ef} = \frac{3(2+1) \cdot 0,862}{2 \cdot 0,0983 \cdot \sqrt{32-1}} = 7,08$$

$f_2 = 2$  – фрикція,

$$P_3 = \frac{3 \cdot 2,776 \cdot 7,08^{-0,768} \cdot 0,5^{0,232} \cdot (1+2)(1+0,5+0,5^2) \cdot 35,5 \cdot 180}{8 \cdot 0,0983 \cdot 0,5^{1,232} \cdot 2^{1,232} \cdot (1+2+2^2)} = 1386590 H$$

Визначаємо крутний момент на кожному валку каландра.

Крутний момент на першому валку

$$M_1 = \frac{3C_2 k \cdot \alpha''_{ef_2} g_1^n (1+f)R\sqrt{RL}}{\alpha_{ef_2} \sqrt{h_k}}, \quad (1.12)$$

де  $C_2 = 0,423$  – коефіцієнт;

$$\alpha_{ef_2} = \frac{(1 + f_2)T_2}{h_k \sqrt{\Delta - 1}}, \quad (1.13)$$

$$\alpha_{\epsilon\phi_2} = \frac{(1+2)1,375}{0,0983 \sqrt{32-1}} = 7,53$$

$T_2 = 1,375$  – коефіцієнт;

$$M_1 = \frac{3 \cdot 0,423 \cdot 1,265 \cdot 7,53^{0,232} \cdot 0,5^{0,232} \cdot (1+2) 35,5 \cdot \sqrt{35,5 \cdot 180}}{7,53 \cdot \sqrt{0,0983}} = 30767 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на другому валку

$$M_2 = \frac{3k\mathcal{G}_1^n R \sqrt{RL}}{\sqrt{h_\kappa}} \left[ C_1 \alpha_{\epsilon\phi_1}^{n-1} (1+f) + \frac{C'_2 (\alpha'_{\epsilon\phi_2})^{n-1}}{f_1^{\frac{2n+1}{2}}} \cdot \sqrt{\frac{(1+f)(1+f_1)(1+f_1+f_1^2)}{1+f+f^2}} \right]; \quad (1.14)$$

$C_1 = 0,2525$  – коефіцієнт,

$C'_2 = 0,423$  – коефіцієнт,

$$\alpha'_{\epsilon\phi_2} = \frac{(1+f_1)T'_2}{h'_\kappa \sqrt{\Delta-1}}, \quad (1.15)$$

де  $T'_2 = 1,169$  – коефіцієнт,

$$\alpha'_{\epsilon\phi_2} = \frac{(1+0,5)1,169}{0,0983 \sqrt{32-1}} = 3,2$$

$$M_2 = \frac{3 \cdot 1,265 \cdot 0,5^{0,232} \cdot 35,5 \sqrt{35,5 \cdot 180}}{\sqrt{0,0983}} \left[ 0,2525 \cdot 5,25^{-0,768} \cdot (1+2) + \frac{0,423 \cdot 3,2^{-0,768}}{0,5^{0,732}} \cdot \sqrt{\frac{(1+2)(1+0,5)(1+0,5+0,5^2)}{1+2+2^2}} \right] = 59176 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент, який необхідно подолати при обертанні третього валка

$$M_3 = \frac{3k\mathcal{G}_1^n R \sqrt{RL}}{\sqrt{h_\kappa} \cdot f_1^{\frac{2n+1}{2}}} \sqrt{\frac{1+f}{1+f+f^2}} \left[ C'_1 (\alpha'_{\epsilon\phi_2})^{n-1} \cdot \sqrt{(1+f)(1+f_1+f_1^2)} + \frac{C''_2 (\alpha''_{\epsilon\phi_2})^{n-1}}{f^{\frac{2n+1}{2}}} \sqrt{(1+f_2)(1+f_2+f_2^2)} \right] \quad (1.16)$$

$C_1' = 0,345$  – коефіцієнт;

$C_2'' = 0,514$  – коефіцієнт;

$$\alpha'_{\epsilon\phi_1} = \frac{(1 + f_1)T_1}{h'_\kappa \sqrt{\Delta - 1}}, \quad (1.17)$$

$$\alpha'_{\epsilon\phi_1} = \frac{(1 + 0,5)1,2}{0,0983\sqrt{32 - 1}} = 3,29$$

$$\alpha''_{\epsilon\phi_2} = \frac{(1 + f_2)T_2}{h_\kappa \sqrt{\Delta - 1}}; \quad (1.18)$$

$$\alpha''_{\epsilon\phi_2} = \frac{(1 + 2)1,375}{0,0983\sqrt{32 - 1}} = 8,71$$

$$M_3 = \frac{3 \cdot 1,265 \cdot 0,5^{0,232} \cdot 35,5\sqrt{35,5} \cdot 180}{\sqrt{0,0983} \cdot 0,5^{0,732}} \cdot \sqrt{\frac{1+2}{1+2+2^2}} \cdot \left[ 0,345 \cdot 3,29^{-0,768} \cdot \right. \\ \left. \times \sqrt{(1+0,5)(1+0,5+0,5^2)} + \frac{0,514 \cdot 8,71^{-0,768}}{2^{0,732}} \cdot \sqrt{(1+2)(1+2+2^2)} \right] = 60128 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на четвертому валку каландра:

$$M_4 = \frac{3C_1''(\alpha''_{\epsilon\phi_1})^{n-1} g_1^n R \sqrt{RL}}{\sqrt{h_\kappa} \cdot f_1^{\frac{2n+1}{2}} \cdot f_2^{\frac{2n+1}{2}}} \cdot \sqrt{\frac{(1+f)(1+f_2)(1+f_2+f_2^2)}{1+f+f^2}}; \quad (1.19)$$

де  $C_1'' = 0,0154$  – коефіцієнт;

$$\alpha''_{\epsilon\phi_1} = \frac{(1 + f_2)T_1'}{h''_\kappa \sqrt{\Delta - 1}}, \quad (1.20)$$

$T_1' = 0,834$  – коефіцієнт;

$$\alpha''_{\epsilon\phi_1} = \frac{(1 + 2) \cdot 0,834}{0,0983\sqrt{32 - 1}} = 4,57$$

Підставляючи дані в рівняння, маємо

$$M_4 = \frac{3 \cdot 0,154 \cdot 1,265 \cdot 4,57^{-0,768} \cdot 0,5^{0,232} \cdot 35,5 \sqrt{35,5 \cdot 180}}{0,5^{0,732} \cdot 2^{0,732} \cdot \sqrt{0,0983}} \cdot \sqrt{\frac{(1+2)(1+2)(1+2+2^2)}{1+2+2^2}} = 16503 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Споживану потужність визначаємо за рівнянням

$$N = \frac{M \cdot g}{6120 \cdot R}. \quad (1.21)$$

Потужність на першому валку

$$N_1 = \frac{3076 \cdot 30}{6120 \cdot 0,355} = 42,4 \text{ кВт.}$$

Потужність на другому валку

$$N_2 = \frac{5916,6 \cdot 15}{6120 \cdot 0,355} = 41 \text{ кВт.}$$

Потужність на третьому валку

$$N_3 = \frac{6012,8 \cdot 30}{6120 \cdot 0,355} = 103 \text{ кВт.}$$

Потужність на четвертому валку

$$N_4 = \frac{1650 \cdot 15}{6120 \cdot 0,355} = 12 \text{ кВт.}$$

Сумарна технологічна потужність

$$N_c = N_1 + N_2 + N_3 + N_4. \quad (1.22)$$

$$N_c = 42,4 + 41 + 103 + 12 = 198 \text{ кВт.}$$

## 1.1.2 Розрахунок універсального шпинделя

### 1.1.2.1 Розрахунок вилки

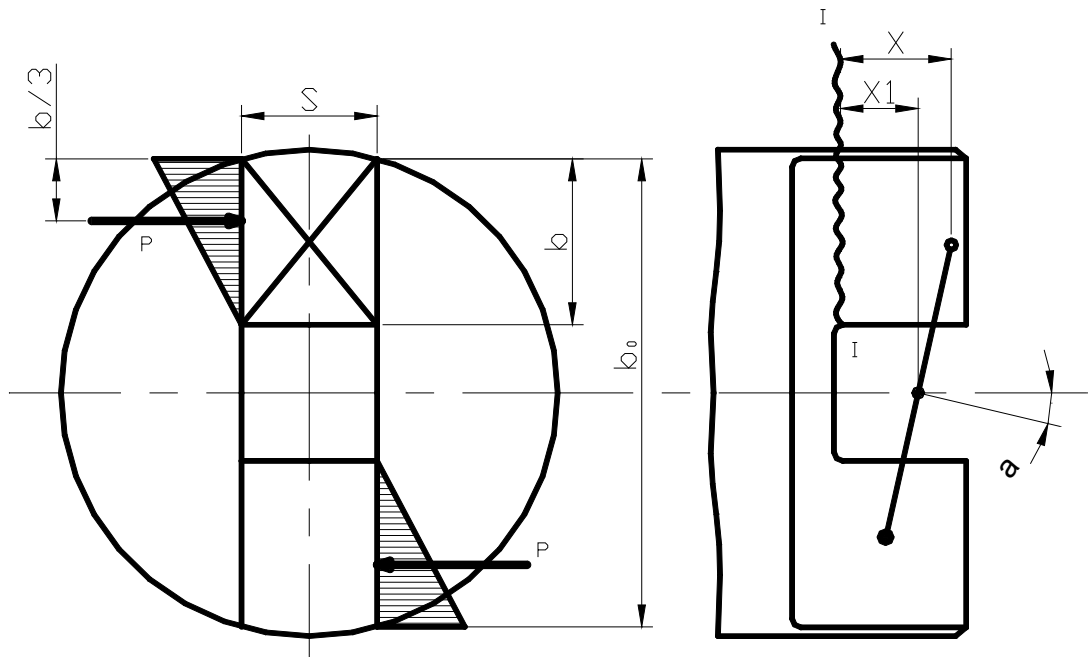


Рис.1.1 Схема дії сил на лопасть з прорізью.

На вилку універсального шпинделя діють крутний та згинаючий моменти. Визначимо ці моменти.

Крутний момент дорівнює

$$M_{кр} = 9550 \frac{N}{n}, \quad (1.23)$$

де  $N = 75$  кВт – потужність електродвигуна;

$n = 18$  об/хв – частота обертання карданного вала.

$$M_{кр} = 9550 \frac{75}{18} = 39792 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сила, яку сприймає шарнір

$$P_{ш} = \frac{M_{кр}}{2R}, \quad (1.24)$$

де  $2R = 0,28$  м – відстань між серединами цапф хрестовини;

$$P_{ш} = \frac{39792}{0,28} = 142113 \text{ Н}.$$

Згинаючий момент небезпечному перерізі вилки

$$M_{32} = P_u \cdot l, \quad (1.25)$$

де  $l = 0,13$  м – плече згину;

$$M_{32} = 142113 \cdot 0,13 = 18475 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження згину в цьому перерізі

$$\sigma_{32\bar{I}} = \frac{M_{32\bar{I}}}{W_{\bar{I}}}, \quad (1.26)$$

де  $W_{\bar{I}}$  - момент опору згину небезпечного перерізу

$$W_{\bar{I}} = \frac{bh^2}{6}, \quad (1.27)$$

$b = 0,04$  м ;  $h = 0,16$  м – геометричні розміри перерізу;

$$W_{\bar{I}} = \frac{0,04 \cdot 0,16^2}{6} = 171 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_{32\bar{I}} = \frac{18475}{171 \cdot 10^{-6}} = 108 \text{ МПа}.$$

$[\sigma]_{32} = 130$  МПа – допустиме напруження згину для матеріалу вилки – сталь 45.

$$\sigma_{32\bar{I}} < [\sigma]_{32}.$$

Нахил вісей валів зумовлює згинаючий момент, який прикладений в площині вилки на ведучому валу

$$M_{32} = M_{кр} \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (1.28)$$

де  $\gamma = 15^\circ$  - кут нахилу вісей валів;

$$M_{32} = 39792 \cdot \operatorname{tg} 15 = 9553 \text{ Нм}.$$

Напруження згину в перерізі вилки на ведучому валу

$$\sigma_{32} = \frac{M_{32}}{W_{II}}, \quad (1.29)$$

де  $W_{II}$  - момент опору згину в даному перерізі;

$$W_{II} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 \cdot D}, \quad (1.30)$$

де  $D = 0,16$  м – зовнішній діаметр вилки в цьому перерізі;



$d = 0,08$  м – внутрішній діаметр вилки в цьому перерізі;

$$W_{\underline{\Pi}} = \frac{3,14(0,16^4 - 0,08^4)}{32 \cdot 0,16} = 377 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{9553}{377 \cdot 10^{-6}} = 25 \text{ МПа}.$$

Напруження кручення в даному перерізі дорівнює

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\rho}}, \quad (1.31)$$

де  $W_{\rho}$  – полярний момент опору;

$$W_{\rho} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16 \cdot D}, \quad (1.32)$$

$$W_{\rho} = \frac{3,14(0,16^4 - 0,08^4)}{16 \cdot 0,16} = 754 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\tau = \frac{39792}{754 \cdot 10^{-6}} = 53 \text{ МПа}.$$

Еквівалентне напруження

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{зг}}^2 + 3\tau^2}; \quad (1.33)$$

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{25^2 + 3 \cdot 53^2} = 95 \text{ МПа}.$$

$[\sigma]_p = 105$  МПа – допустиме напруження розтягу для матеріалу вилки - сталь 45.

$$\sigma_{\text{екв}} < [\sigma]_p.$$

### 1.1.2.2 Розрахунок хрестовини

Напруження згину в перерізі шипа

$$\sigma = \frac{M_{\text{зг}}}{W}, \quad (1.34)$$

де  $M_{\text{зг}}$  – згинаючий момент в небезпечному перерізі шипа;

$$M_{\text{зг}} = P \cdot l, \quad (1.35)$$

де  $P = 142113$  Н – сила, яка діє на хрестовину;

$l = 0,09$  м – плече дії сили;

$$M_{зг} = 142113 \cdot 0,09 = 12790 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$W$  – момент опору згину;

$$W = \frac{\pi d^3}{32}, \quad (1.36)$$

$d = 0,1$  м – діаметр шипа;

$$W = \frac{3,14 \cdot 0,1^3}{32} = 98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_{зг} = \frac{12790}{98 \cdot 10^{-6}} = 129 \text{ МПа}.$$

$[\sigma] = 130$  МПа – допустиме напруження згину для матеріалу шипа – сталь 45.

Умова міцності виконується:

$$\sigma_{зг} < [\sigma]$$

Шип хрестовини знаходиться під дією зусиль зрізу

$$\tau_{зр} = \frac{4P}{F}, \quad (1.37)$$

де  $F$  – площа зрізу;

$$F = \pi d^2, \quad (1.38)$$

$$F = 3,14 \cdot 0,12^2 = 0,0452 \text{ м}^2.$$

$$\tau_{зр} = \frac{4 \cdot 142113}{0,0452} = 13 \text{ МПа}.$$

$[\tau]_{зр} = 75$  МПа – допустиме напруження зрізу для сталі 45.

$$\tau_{зр} < [\tau]_{зр}.$$

### 1.1.2.3 Розрахунок шпонки

На вилці універсального шпинделя встановлена призматична шпонка  
 $b \times h \times l = 50 \times 28 \times 260$ .

Умова міцності з'єднання по зминанню

$$\sigma_{зм} = \frac{M_{кр}}{0,25 \cdot z \cdot l_p \cdot d \cdot h} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (1.39)$$

де  $M = 39792$  Нм – крутний момент на валу;

$z = 1$  – кількість шпонок;

$l = 0,15$  м – робоча довжина шпонки;

$d = 0,26$  м – діаметр вала;

$h = 0,028$  м – висота шпонки;

$$\sigma_{зм} = \frac{39792}{0,25 \cdot 1 \cdot 0,15 \cdot 0,26 \cdot 0,028} = 146 \text{ МПа.}$$

$[\sigma]_{зм} = 210$  МПа – допустиме напруження зминання для матеріалу шпонки – сталь 45.

$$\sigma_{зм} < [\sigma]_{зм.}$$

Умови міцності з розрахунків на зріз шпонки

$$\tau_{зр} = \frac{2M}{zbl_p d} \leq [\tau]_{зр}, \quad (1.40)$$

де  $b = 0,05$  м – ширина шпонки;

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 39792}{1 \cdot 0,05 \cdot 0,15 \cdot 0,26} = 41 \text{ МПа.}$$

$[\tau]_{зр} = 75$  МПа – допустиме напруження зрізу для матеріалу шпонки – сталь 45.

$$\tau_{зр} < [\tau]_{зр.}$$

#### 1.1.2.4 Розрахунок шліців універсального шпинделя

Шліці універсального шпинделя розраховують на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{M}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r_{сер}}, \quad (1.41)$$

де  $M = 39792$  Нм – крутний момент на карданному валу;

$\psi = 0,75$  – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення навантаження по зубцях;

$z = 34$  – число зубців;

$l = 0,05$  – робоча довжина зуба вздовж осі вала;

$h$  – робоча висота контактуючих зубців в радіальному напрямку.

Для евольвентного зубчатого з'єднання

$$h = \frac{D_b - d_a}{2}, \quad (1.42)$$

$D_b = 0,18$  м – зовнішній діаметр виступів;

$d_a = 0,17$  м – внутрішній діаметр;

$$h = \frac{0,18 - 0,17}{2} = 0,005 \text{ м},$$

$r_{сер}$  – середній радіус, тобто відстань від осі обертання вала до середини висоти зуба;

$$r_{сер} = \frac{d_B}{2} = \frac{h \cdot z}{2}; \quad (1.43)$$

Напруження зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{39792}{0,7 \cdot 34 \cdot 0,05 \cdot 0,085 \cdot 0,005} = 78 \text{ МПа}.$$

$[\sigma]_{зм} = 120$  МПа – допустиме напруження на зминання для нерухомого з'єднання.

$$\sigma_{зм} < [\sigma]_{зм}.$$

## 1.2 Тепловий розрахунок валка каландра

Енергетичний баланс валка каландра можна записати у вигляді рівняння

$$G_{сер} x t_n + Q'_{дис} + Q_{нагр} = G_{сер} x t_k + Q_{вит}, \quad (1.44)$$

$G_{сер}$  – кількість матеріалу, який поступає на валок за одиницю часу, кг/с;

$C_p$  – питома теплоємність полімера при температурі переробки, Дж/(кг·К);

$t_n$  – початкова температура полімера на вході на валок, °С;

$t_k$  – кінцева температура полімера після сходу з валка, °С;

$Q'_{дис}$  – половина величини теплової енергії, отриманої за рахунок перетворення механічної енергії в теплову, Вт;

$Q_{нагр}$  – кількість теплової енергії, яка підводиться до валка, Вт;

$Q_{вит}$  – теплові витрати від валка в навколишнє середовище, Вт.

З рівняння енергетичного балансу валка визначаємо

$$Q_{нагр} = C_p(t_n - t_k) + Q_{вит} - Q'_{дис}. \quad (1.45)$$

Масова продуктивність в кожному з зазорів каландра буде однаковою

$$G_1 = G_2 = G_3 = G_4 \quad (1.46)$$

Для третього валка

$$G_3 = V_3 \cdot L \cdot \delta_1 \cdot \rho, \quad (1.47)$$

$V_3$  – швидкість валка, на якому знаходиться маса, м/с;

$L$  – довжина бочки валка каландра, м;

$\delta_1$  – величина міжвалкового зазору, м;

$\rho$  – густина полімера при температурі переробки, кг/м<sup>3</sup>.

Тут  $\delta_1 = n_{вих} = 0,083 \cdot 2 = 1,97 \text{ мм} \approx 2 \text{ мм}$ .

$$G_3 = 0,67 \cdot 1,8 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1460 = 3,13 \text{ кг/с}.$$

Кількість енергії, яка виноситься масою при нагріванні її від початкової до кінцевої температури

$$Q_{n_3} = G_3 \cdot C_p(t_n - t_k), \quad (1.48)$$

де  $Q_{n_3}$  – кількість енергії, яка виноситься масою з 3-го валка, Вт;

$G_3$  – масова продуктивність третього валка, кг/с;

$C_p$  – теплоємність полімера при температурі переробки, Дж/(кг·К);

$t_n$  – початкова температура полімера після проходження 3-го валка, °С;

$t_k$  – кінцева температура маси перед входом на валок, °С;

$$Q_{n_3} = 3,13 \cdot 1390 \cdot (158,4 - 146,8) = 50468 \text{ Вт}.$$

Теплові витрати з третього валка каландра визначаються відношенням

$$Q_{вит3} = Q'_{витр} + Q''_{витр}, \quad (1.49)$$

де  $Q'_{витр}$  – теплові витрати з поверхні третього валка, вільного від маси, Вт;

$Q''_{витр}$  – теплові витрати з поверхні третього валка, вкритого масою, Вт.

Теплові витрати з поверхні третього валка, вільного від маси, визначаються за формулою

$$Q'_{витр} = \alpha_3 \cdot F \cdot (t_{в3} - t_{нс}), \quad (1.50)$$

де  $\alpha_3$  – сумарний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні третього валка в навколишнє середовище, Вт/(м<sup>2</sup>·град);

$F$  – площа поверхні валка, °С;

$t_{в3}$  – температура поверхні валка, °С;

$t_{нс}$  – температура навколишнього середовища, °С.

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулою

$$\alpha_3 = \alpha_{к3} + \alpha_{в3}, \quad (1.51)$$

де  $\alpha_{к3}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні лінолеуму до повітря за рахунок природної конвекції, Вт/(м<sup>2</sup>·град);

$\alpha_{в3}$  – коефіцієнт тепловіддачі за рахунок випромінювання з поверхні лінолеуму, Вт/(м<sup>2</sup>·град);

Коефіцієнт  $\alpha_k$  визначається з формули

$$Nu = \frac{\alpha_{к3} \cdot D}{\lambda}, \quad (1.52)$$

$$Nu = C(Pr \cdot Gr)^n \cdot k, \quad (1.53)$$

де  $Pr$  – критерій Прандтля, для повітря  $Pr=0,71$ ;

$Gr$  – критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \cdot \Delta t \cdot x^3 \cdot g}{\nu^2}, \quad (1.54)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення для газів;

$$\beta = \frac{1}{T_{нс} + 273}, \quad (1.55)$$

$T_{нс}=18^\circ\text{C}$  – температура навколишнього середовища

$$\Delta t = T - T_{нс}, \quad (1.56)$$

$x$  - визначний розмір,  $x = D_{в}$ ;

$\nu = 14,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$  – кінематична в'язкість повітря при

$$T_{сер} = \frac{T + T_{нс}}{2}. \quad (1.57)$$

Коефіцієнти  $c, k$  та  $n$  в рівнянні  $Nu$  визначаються по добутку  $PrGr$ .

Якщо  $PrGr > 10^9$ , то  $c = 0,1$ ;  $n = 1/3$ ;  $k = 1$ .

Коефіцієнт  $\alpha_{к3}$  отримуємо далі

$$\alpha_{к3} = \frac{\lambda_T}{d} \cdot Nu = \frac{\lambda_T}{d} \cdot C(Pr \cdot Gr)^n k, \quad (1.58)$$

де  $\lambda_T = 2,58 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м·К)}$  – коефіцієнт теплопроводності повітря при середній температурі.

$$(\text{Pr} \cdot \text{Gr})'_3 = \frac{9,81 \cdot 0,71^3 \cdot (165 - 18) \cdot 0,71}{(14,9 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 291} = 8,44 \cdot 10^9 > 10^9.$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією

$$\alpha_{k3} = \frac{2,58 \cdot 10^{-2}}{0,71} \cdot 0,1 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{8,44} = 7,39 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні полімеру до повітря за рахунок випромінювання

$$\alpha_{\epsilon} = E \cdot C_0 \cdot 10^{-3} = \frac{T^4 - T_{nc}^4}{T - T_{nc}}, \quad (1.59)$$

де  $E = 0,65$  - степінь чорності зовнішньої поверхні полімеру;

$C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – константа випромінювання абсолютно чорного тіла.

$$\alpha_{\epsilon 3} = \frac{0,65 \cdot 5,67}{147} \left[ \left( \frac{438}{100} \right)^4 - \left( \frac{291}{100} \right)^4 \right] = 7,43 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

$$\alpha_3 = 7,39 + 7,43 = 14,82 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)};$$

Втрати з третього валка, якщо він був повністю вільним від маси, складають

$$Q'_{\text{випр}} = \alpha_3 \cdot F \cdot (t_{\epsilon 3} - t_{nc}) = 14,82 \cdot 4,51 \cdot 147 = 8742 \text{ Вт}, \quad (1.60)$$

де  $F = 4,51 \text{ м}^2$  – площа поверхні валка.

Величина дуги кола валка, де він вільний від маси  $\gamma_B = 174^\circ$ .

Втрати від третього валка там, де він вільний від маси

$$Q_{\text{випр}}^{\text{III}} = \frac{Q'_{\text{випр}} \cdot \gamma}{360}, \quad (1.61)$$

$$Q_{\text{випр}}^{\text{III}} = \frac{8742 \cdot 174}{360} = 4225 \text{ Вт}.$$

Аналогічно розраховуємо втрати для поверхні третього валка, вкритого масою

$$(\text{Pr} \cdot \text{Gr})''_3 = \frac{9,81 \cdot 0,71^3 \cdot (152,6 - 18) \cdot 0,71}{(14,9 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 291} = 5,2 \cdot 10^9 > 10^9,$$

$$\alpha''_{k3} = \frac{2,58 \cdot 10^{-2}}{0,71} \cdot 0,1 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{5,2} = 6,29 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Степінь чорноти валка, вкритого полімером  $E = 0,94$

$$\alpha_{\text{в3}}'' = \frac{0,94 \cdot 5,67}{136,6} \left[ \left( \frac{425,6}{100} \right)^4 - \left( \frac{291}{100} \right)^4 \right] = 10,15 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

$$\alpha_{\text{в}}'' = 6,29 + 10,15 = 16,44 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

Втрати від третього валка, якщо він весь був вкритий масою, складуть

$$Q_{\text{втр3}}'' = \alpha_{\text{в3}}'' \cdot F \cdot (t_{\text{в3}} - t_{\text{нс}}) = 16,44 \cdot 4,51 \cdot 134,6 = 8917,7 \text{ Вт} \quad (1.62)$$

Втрати на третьому валку там, де він вкритий масою

$$Q_{\text{втр3}}'' = \frac{Q_{\text{втр3}}'' \cdot \gamma}{360}, \quad (1.63)$$

$$Q_{\text{втр}}'' = \frac{8917,7 \cdot (360 - 174)}{360} = 4607,5 \text{ Вт.}$$

Сумарні витрати з третього валка складуть

$$Q_{\text{втр3}} = 4225 + 4607,5 = 8832,5 \approx 8833 \text{ Вт.}$$

Дисипаційне виділення енергії в зазорах при проходженні матеріалу для кожного з зазорів

$$Q'_{\text{дис}} = 27000 \text{ Вт}$$

$$Q''_{\text{дис}} = 49700 \text{ Вт}$$

$$Q'''_{\text{дис}} = 30300 \text{ Вт}$$

Тоді, враховуючи, що на кожний з валків приходить однакова кількість дисипаційної енергії, що виділилася в зазорі, маємо

$$Q'_{\text{дис3}} = \frac{Q''_{\text{дис}} + Q'''_{\text{дис}}}{2}, \quad (1.64)$$

$$Q'_{\text{дис3}} = \frac{49700 + 30300}{2} = 40000 \text{ Вт.}$$

Визначаємо потужність системи нагрівання валка

$$Q_{\text{нагр3}} = Q_{\text{нов3}} + Q_{\text{втр3}} - Q_{\text{дис3}}, \quad (1.65)$$

$$Q_{\text{нагр3}} = 50468 + 8833 - 40000 = 19300 \text{ Вт.}$$

Знаходимо витрату гріючого теплоносія (перегрітої води), вважаючи, що різниця температур на виході та вході теплоносія у валок складає  $\Delta t = 1^\circ \text{C}$ .

Для третього валка

$$G_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{нагр3}}}{C_p \cdot \Delta t}, \quad (1.66)$$



де  $G_v$  – витрата теплоносія;

$C_p = 4370$  Дж/(кг·град) – теплоємність води,

$$G_v = \frac{19300}{4370 \cdot 1} = 4,41 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'ємні витрати перегрітої води

$$V = \frac{G_v}{\rho_v} = \frac{4,41}{1000} = 0,00441 \text{ м}^3/\text{с} = 15,8 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1.67)$$

де  $\rho_v = 1000$  кг/м<sup>3</sup> – густина води.

Витрати води для обігріву валка складають 15,8 м<sup>3</sup>/год.

### 1.3 Розрахунки міцності конструкції

#### 1.3.1 Розрахунок валка на міцність

Валок розраховується як двохопорна балка, навантажена на 1600мм рівномірно розподіленим навантаженням  $q = 940$  кг/см = 940000 Н/м.

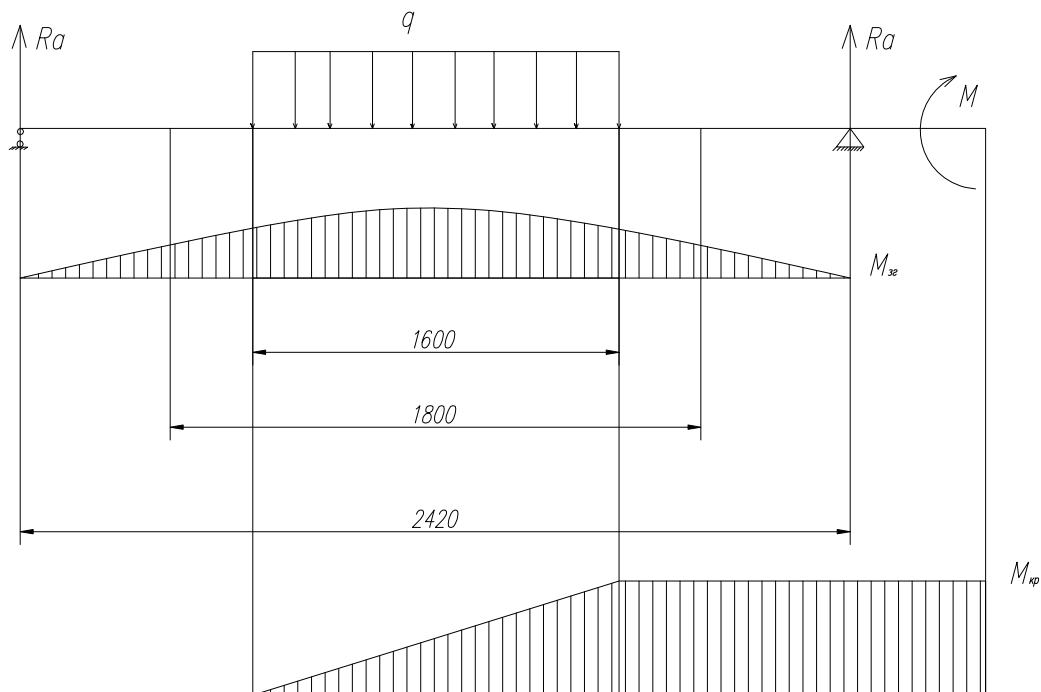


Рис. 1.2 Розрахункова схема валка

З боку приводу на валок передається крутний момент

$$M_{kp} = 9550 \frac{N}{n}, \quad (1.68)$$

де  $N = 75$  кВт – потужність електродвигуна;

$n = 22,5$  об/хв – частота обертання валка;

$$M_{кр} = 9550 \frac{75}{22,5} = 31833 \text{ Н/м}.$$

При розрахунку валка на міцність розглянемо декілька перерізів.

Переріз 1 – 1

Згинаючий момент в цьому перерізі буде такий

$$M_{з1} = q \cdot b \cdot \frac{2c + b}{2L} \left[ a + \frac{b(2c + b)}{4L} \right], \quad (1.69)$$

де  $q = 940$  кг/см – інтенсивність розподіленого навантаження;

$b = 160$  см – ширина навантаженої частини валка;

$L = 242$  см – відстань між опорами;

$a = 41$  см – геометричний розмір;

$c = 41$  см – геометричний розмір;

$$M_{з1} = 940 \cdot 160 \cdot \frac{2 \cdot 41 + 160}{2 \cdot 242} \left[ 41 + \frac{160(2 \cdot 41 + 160)}{4 \cdot 242} \right] = 609120 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент інерції перерізу 1 – 1

$$I_{1-1} = I_1 - I_2 - I_3 \quad (1.70)$$

де  $I_1$  – момент інерції бочки без врахування отворів;

$$I_1 = \frac{\pi \cdot D_1^4}{64}; \quad (1.71)$$

де  $D_1 = 71$  см – діаметр бочки валка в навантаженій частині;

$$I_1 = \frac{3,14 \cdot 71^4}{64} = 1246760 \text{ см}^4 = 1246,76 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

$I_2$  – момент інерції центрального отвору;

$$I_2 = \frac{\pi \cdot D_2^4}{64}, \quad (1.72)$$

$D_2 = 15$  см – внутрішній діаметр валка;

$$I_2 = \frac{3,14 \cdot 15^4}{64} = 2484 \text{ см}^4 = 2,484 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

$I_3$  – момент інерції каналів охолодження діаметром 35 мм;

$$I_3 = 4(I' + z_1^2 F) + 4(I' + z_2^2 F) + 4(I' + z_3^2 F) + 4(I' + z_4^2 F) + 4(I' + z_5^2 F) + 2(I' + z_6^2 F) + 2I' \quad (1.73)$$

$I'$  – момент інерції отворів охолодження валка;

$$I' = \frac{\pi \cdot d^4}{64}, \quad (1.74)$$

$d = 3,5\text{см}$  – діаметр каналу охолодження;

$$I' = \frac{3,14 \cdot 3,5^4}{64} = 7,36\text{см}^4 = 0,736 \cdot 10^{-7} \text{м}^4$$

$F$  – площа перерізу каналу охолодження;

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (1.75)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} = 9,62\text{см}^2 = 96,2 \cdot 10^{-5} \text{м}^2$$

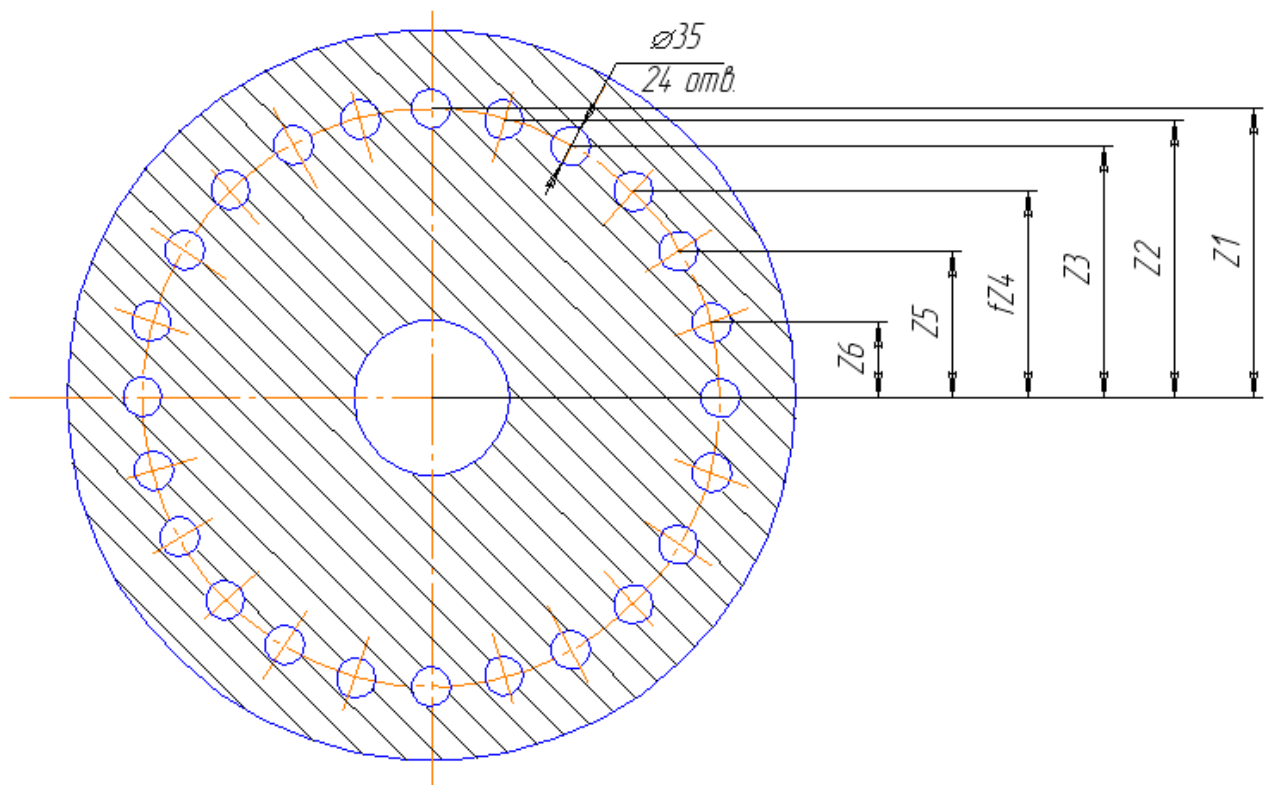


Рис. 1.3 Схема розташування периферійних отворів валка

Визначимо ординати каналів охолодження

$$z = R \sin \alpha \quad (1.76)$$

$R = 27,5\text{см}$  – радіус розташування каналів охолодження;

$\alpha$  – кут розташування отворів;

$$z_1 = 27,5 \sin 15^\circ = 7,12 = 0,0712 \text{ м}$$

$$z_2 = 27,5 \sin 30^\circ = 13,75 = 0,1375 \text{ м}$$

$$z_3 = 27,5 \sin 45^\circ = 19,45 = 0,1945 \text{ м}$$

$$z_4 = 27,5 \sin 60^\circ = 23,82 = 0,2382 \text{ м}$$

$$z_5 = 27,5 \sin 75^\circ = 26,52 = 0,2652 \text{ м}$$

$$z_6 = 27,5 \sin 90^\circ = 27,5 = 0,275 \text{ м}$$

Момент інерції перерізу  $\bar{I} - \bar{I}$  буде дорівнювати

$$I_1 = 1246760 - 2484 - 87488 = 1156788 \text{ см}^4 = 1156,79 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Момент опору згину перерізу  $\bar{I} - \bar{I}$

$$W_1 = \frac{I_1}{R}, \quad (1.77)$$

$R = 35,5 \text{ см}$  – максимальний радіус бочки валка;

$$W_1 = \frac{1156788}{35,5} = 3258,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Максимальне напруження згину перерізу  $\bar{I} - \bar{I}$

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1}, \quad (1.78)$$

$$\sigma_1 = \frac{6091200}{32586} = 187 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 18,7 \text{ МПа}$$

Напруження кручення в перерізі  $\bar{I} - \bar{I}$  визначаємо за формулою

$$\tau_1 = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (1.79)$$

де  $M_{кр} = 31833 \text{ Нм}$  – крутний момент, діючий на валок;

$W_p$  – полярний момент опору;

$$W_{p1} = 2W_1 \quad (1.80)$$

$$W_{p1} = 2 \cdot 32586 = 65172 \text{ см}^3 = 0,065 \text{ МПа}$$

$$\tau_1 = \frac{31833}{0,065} = 0,049 \text{ МПа}$$

Приведене напруження валка в перерізі  $\bar{I} - \bar{I}$

$$\sigma_{np1} = \frac{1-\mu}{2}\sigma_1 + \frac{1+\mu}{2}\sqrt{\sigma_1^2 + 4\tau_1^2}, \quad (1.81)$$

де  $\mu = 0,23$  – коефіцієнт Пуассона

$$\sigma_{np1} = \frac{1-0,23}{2}187 + \frac{1+0,23}{2}\sqrt{187^2 + 4 \cdot 4,9^2} = 187 \text{ кг/см}^2 = 18,7 \text{ МПа} [\sigma] = 375$$

кг/см<sup>2</sup> = 37,5 МПа – допустиме напруження для матеріалу

валка – валкового чавуну

$$\sigma_{np1} < [\sigma]$$

Переріз  $\overline{II} - \overline{II}$

Напруження згину в цьому перерізі

$$\sigma_{II} = \frac{M_2}{W_2}, \quad (1.82)$$

де  $M_2$  – згинаючий момент в перерізі  $\overline{II} - \overline{II}$

$$M_2 = Rl, \quad (1.83)$$

$R = 750000$  Н – реакція опори;

$l = 0,31$  см – плече згинаючого моменту;

$$M_2 = 750000 \cdot 0,31 = 232500 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$W_2$  – момент опору згину перерізу  $\overline{II} - \overline{II}$

$$W_2 = \frac{\pi(D_1^4 - d_1^4)}{32 D_1}, \quad (1.84)$$

$D_1 = 42$  см – зовнішній діаметр валка в перерізі  $\overline{II} - \overline{II}$ ,

$d_1 = 15$  см – внутрішній діаметр валка в перерізі  $\overline{II} - \overline{II}$ ;

$$W_2 = \frac{3,14(42^4 - 15^4)}{32 \cdot 42} = 7152 \text{ см}^3 = 715,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\sigma_{II} = \frac{2325000}{7152} = 325 \text{ кг/см}^2 = 32,5 \text{ МПа}$$

Напружене кручення в перерізі  $\overline{II} - \overline{II}$

$$\tau_1 = \frac{M_{кр}}{W_{p2}}, \quad (1.85)$$

де  $M_{кр} = 31833$  Нм – крутний момент діючий на валок;

$W_{p2}$  – полярний момент опору в перерізі  $\overline{II} - \overline{II}$ ;

$$W_{p_2} = 2W_2 \quad (1.83)$$

$$W_{p_2} = 2 \cdot 7152 = 14304 \text{ см}^3 = 1430,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$\tau_1 = \frac{31833}{0,0143} = 2,3 \text{ МПа}$$

Приведене напруження в перерізі  $\overline{II} - \overline{II}$

$$\sigma_{np_2} = \frac{1-\mu}{2} \sigma_2 + \frac{1+\mu}{2} \sqrt{\sigma_2^2 + 4\tau_2^2}; \quad (1.86)$$

$$\sigma_{np_2} = \frac{1-0,23}{2} 325 + \frac{1+0,23}{2} \sqrt{325^2 + 4 \cdot 21^2} = 327 \text{ кгс/см}^2 = 32,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{np2} < [\sigma]$$

Переріз  $\overline{III} - \overline{III}$

В перерізі  $\overline{III} - \overline{III}$  діє тільки крутний момент.

Напруження кручення в перерізі  $\overline{III} - \overline{III}$

$$\tau_3 = \frac{M_{кр}}{W_{p_3}}, \quad (1.87)$$

де  $M_{кр} = 31833 \text{ кгсм}$  – крутний момент, діючий на валок;

$W_{p3}$  – полярний момент опору в перерізі  $\overline{III} - \overline{III}$ ;

$$W_{p_3} = \frac{\pi(D_2^4 - d_2^4)}{16D_2}, \quad (1.88)$$

$D_2 = 34 \text{ см}$  – зовнішній діаметр валка в перерізі  $\overline{III} - \overline{III}$ ;

$d_2 = 15 \text{ см}$  – внутрішній діаметр валка в перерізі  $\overline{III} - \overline{III}$ ;

$$W_{p_3} = \frac{3,14(34^4 - 15^4)}{16 \cdot 34} = 7421 \text{ см}^3 = 742 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\tau_3 = \frac{31833}{0,0074} = 4,3 \text{ МПа}$$

Загальна стріла прогину в середині перерізу бочки складе

$$f = P \frac{1}{384EI_{\bar{\delta}}} \left[ 8a^3 - 4ab^2 + b^3 + 64c^3 \left( \frac{I_{\bar{\delta}}}{I_{ш}} - 1 \right) \right] + \frac{1}{4GF_{\bar{\delta}}} \left[ a - \frac{b}{2} + 2c \left( \frac{I_{\bar{\delta}}}{I_{ш}} - 1 \right) \right], \quad (1.89)$$

де  $P = 1500000$  Н – розпирне зусилля, діюче на валок;

$E = 1,2 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup> – модуль пружності  $\bar{I}$  роду;

$G = 4,5 \cdot 10^5$  кг/см<sup>2</sup> – модуль пружності  $\bar{II}$  роду;

$a = 242$  см – відстань між опорами;

$b = 160$  см – ширина каландрованої плівки;

$c = 31$  см – геометричний розмір;

$I_{\bar{\delta}} = 1156788$  см<sup>4</sup> – момент інерції бочки валка;

$I_{ш}$  – момент інерції шийки валка;

$$I_{ш} = \frac{\pi(D_{ш}^4 - d_{ш}^4)}{64}, \quad (1.90)$$

$D_{ш} = 40$  см – зовнішній діаметр шийки валка;

$d_{ш} = 15$  см – внутрішній діаметр шийки валка;

$$I_{ш} = \frac{3,14(40^4 - 15^4)}{64} = 123116 \text{ см}^4 = 12,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$$

$F_{\bar{\delta}}$  – площа перерізу бочки валка;

$$F_{\bar{\delta}} = F_1 - F_2 \quad (1.91)$$

$F_1$  – площа перерізу без урахування отворів;

$$F_1 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{4}, \quad (1.83)$$

$$F_1 = \frac{3,14(71^4 - 15^4)}{4} = 3780 \text{ см}^2 = 0,378 \text{ м}^2$$

$F_2$  – площа перерізу каналів охолодження;

$$F_2 = \frac{z \pi d^2}{4}, \quad (1.92)$$

$z = 24$  – кількість каналів;

$d = 3,5$  см – діаметр каналу;

$$F_2 = 24 \frac{3,14 \cdot 3,5}{4} = 231 \text{ см}^2 = 0,231 \text{ м}^2$$

$$F_{\sigma} = 3781 - 231 = 3550 \text{ см}^2$$

$F_{ш}$  – площа перерізу шийки валка;

$$F_{ш} = \frac{\pi(D_{ш}^2 - d_{ш}^2)}{4}; \quad (1.93)$$

$$F_{ш} = \frac{3,14(40^2 - 15^2)}{4} = 1079 \text{ см}^2 = 0,1079 \text{ м}^2$$

Отримані значення підставляємо в формулу визначення прогину

$$\begin{aligned} f &= 1500000 \frac{1}{384 \cdot 1,2 \cdot 10^6 \cdot 1156788} \cdot \\ &\times \left[ 8 \cdot 242^3 - 4 \cdot 242 \cdot 160^2 + 160^3 + 64 \cdot 31^3 \left( \frac{1156788}{123116} - 1 \right) \right] + \\ &+ \frac{1}{4 \cdot 4,4 \cdot 10^5 \cdot 3550} \left[ 242 \cdot \frac{160}{2} + 2 \cdot 31 \left( \frac{3550}{1079} - 1 \right) \right] = 0,038 \text{ см} = 0,38 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned}$$

### 1.3.2 Визначення розподілу напруги та деформації, які розвиваються у стінці валка в залежності від радіуса за допомогою програми на C++

Вихідні дані:

$$\mu = 0,3; \quad E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$R_b = 170 \text{ мм}; \quad R_3 = 710 \text{ мм}; \quad P_3 = 9,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

Формули, за якими ведеться підрахунок:

$$\sigma_r^b = \frac{P_3 R_3^2}{R_3^2 - R_6^2} \left( 1 - \frac{R_6^2}{r^2} \right) \quad (1.94)$$

$$\sigma_\tau^b = \frac{P_3 R_3^2}{R_3^2 - R_6^2} \left( 1 + \frac{R_6^2}{r^2} \right) \quad (1.95)$$

$$U^b = - \frac{P_3 R_3^2}{E(R_3^2 - R_6^2)} \left[ (1 - \mu) \cdot r + (1 + \mu) \frac{R_6^2}{r} \right] \quad (1.96)$$



Лістинг програми наведений у додатках до розділу.

Таблиця ідентифікаторів:

Таблиця.1.1

№	У тексті	У програмі	Значення змінних	Тип змінної
1	$R_B$	R_v	170	float
2	$R_3$	R_z	710	float
3	$P_3$	P_z	9.4	float
4	E	E	200000	float
5	$\mu$	mu	0,3	float
6	r	current_radius	-	float
7	$\sigma_r$	sigma_r	-	float * const
8	$\sigma_t$	sigma_t	-	float * const
9	U	u	-	float * const
10	-	ITERATION	5	const short
11	-	SIZE	-	const short
12	-	i	-	int
13	-	offer	-	string
14	-	filename	-	string
15	-	file	-	ofstream

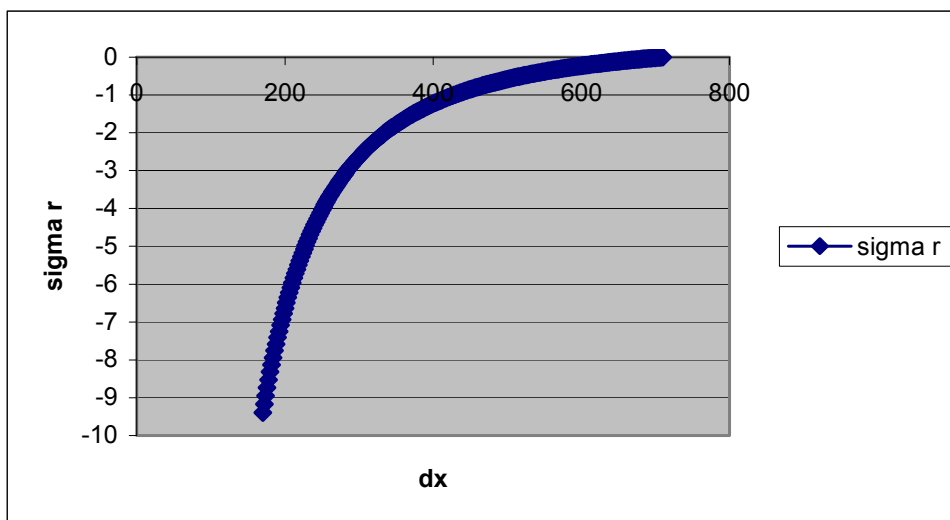


Рис. 1.4 Графік залежності напруження  $\sigma_r$  від радіуса валка

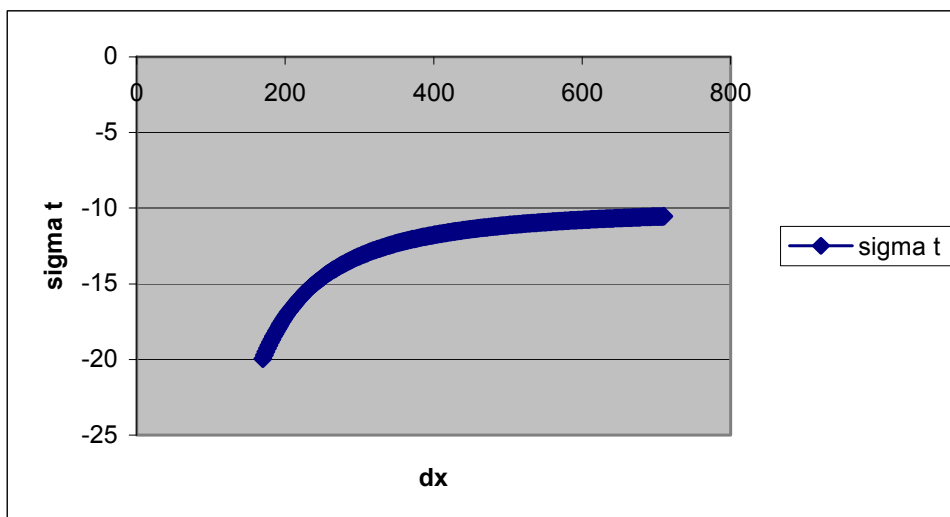


Рис. 1.5 Графік залежності напруження  $\sigma_t$  від радіуса валка

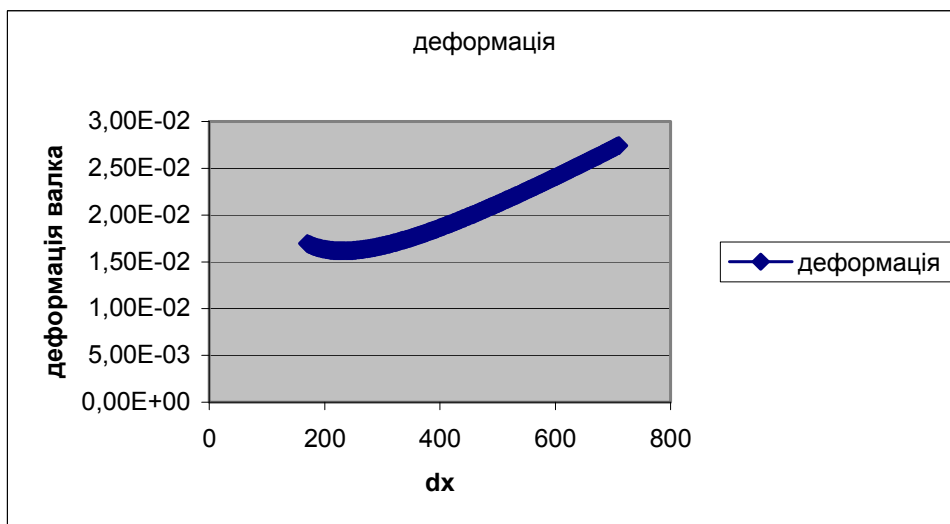


Рис.1.6 Графік залежності деформації від радіуса валка

### 1.3.3 Розрахунок валка за допомогою програми “Весна”

Дані для розрахунку:

Конструктивні розміри валка приведені на рис. 1.7.

Модуль пружності  $E=2 \cdot 10^9$  Па;

Коефіцієнт Пуасона  $N=0,3$ ;

Конструкцію моделюємо кількома фрагментами, які зв’язані між собою і займають увесь об’єм досліджуваної конструкції

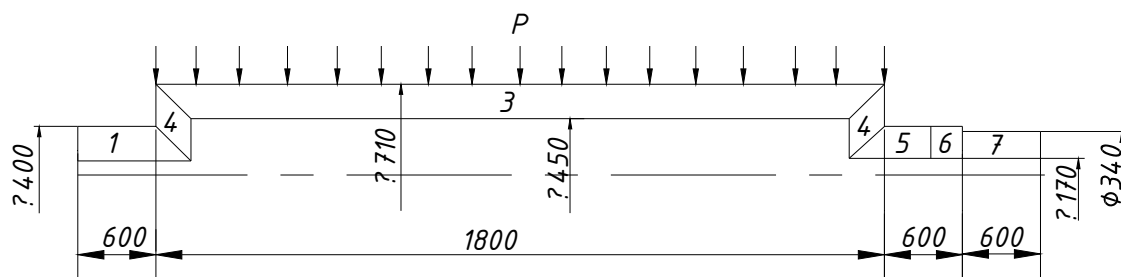


Рис. 1.7 Розрахункова схема

Всі фрагменти розбиваємо на скінчені елементи ( див. Табл.1.2).

Кількість скінчених елементів по фрагментам Табл. 1.2

Фрагменти	Mx1	Mx2	Mx3
1	10	10	22
2	10	10	22
3	10	10	22
4	10	10	22
5	10	10	22
6	10	10	22
7	10	10	22

Початкова схема конструкції зображена на рис. 1.8.

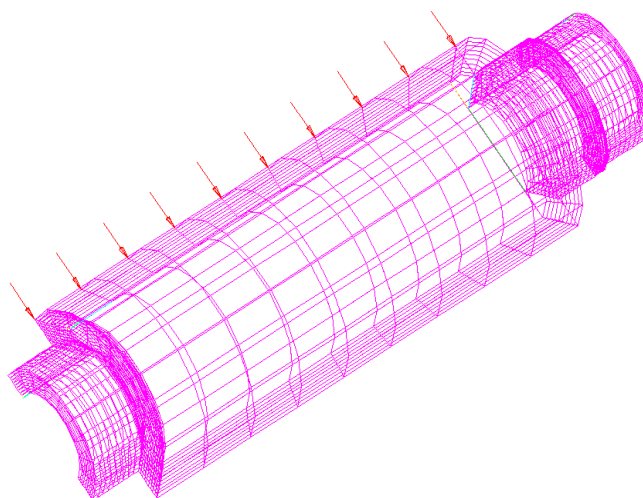


Рис. 1.8. Схема навантаження валка.

Аналіз результатів розрахунку



Рис. 1.9 Графік приведених напружень за результатами розрахунку

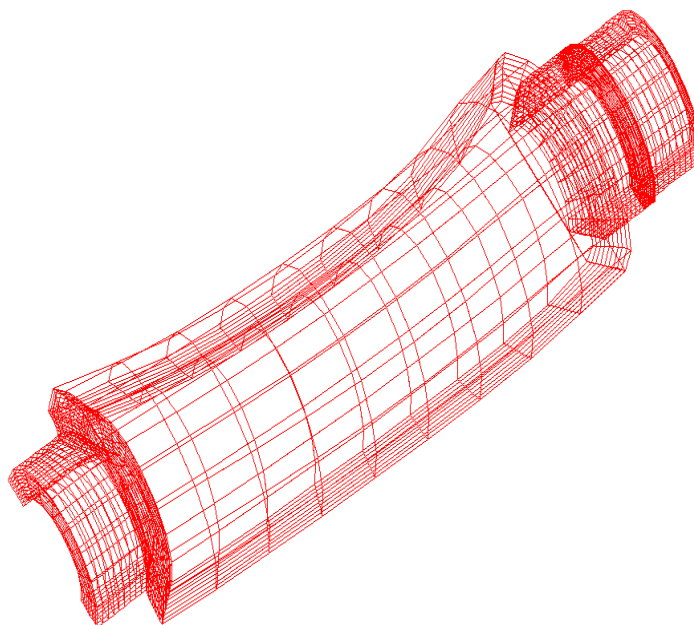
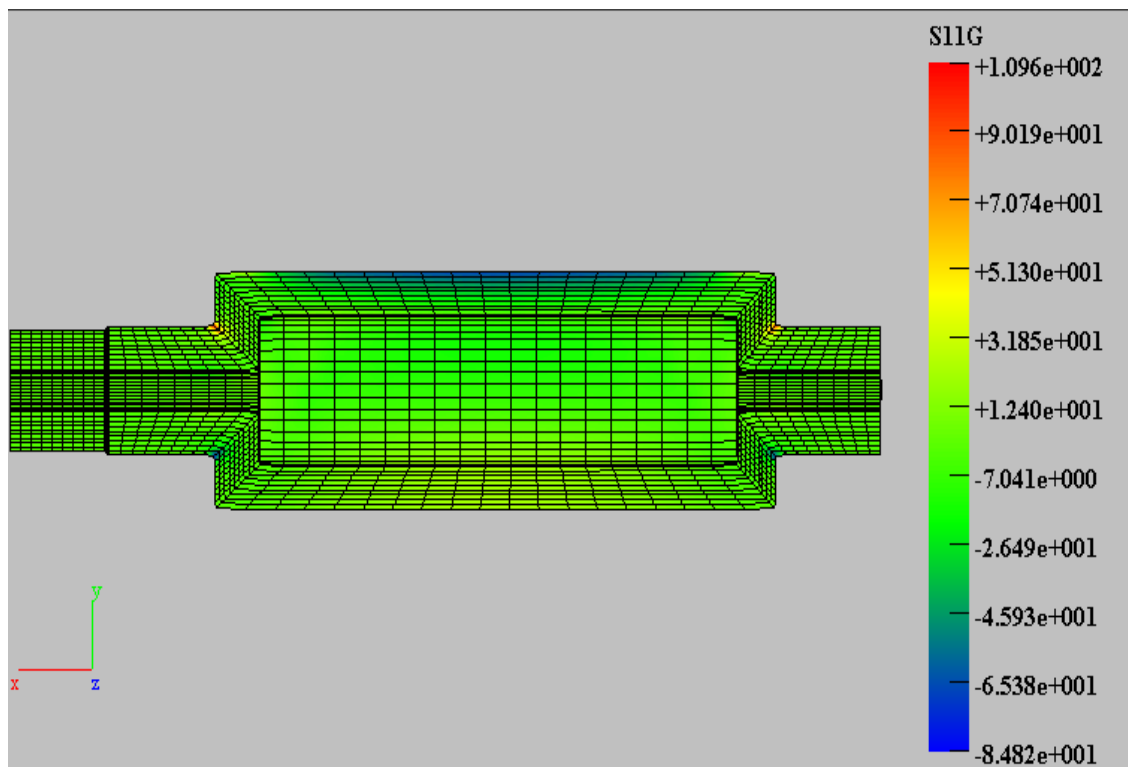
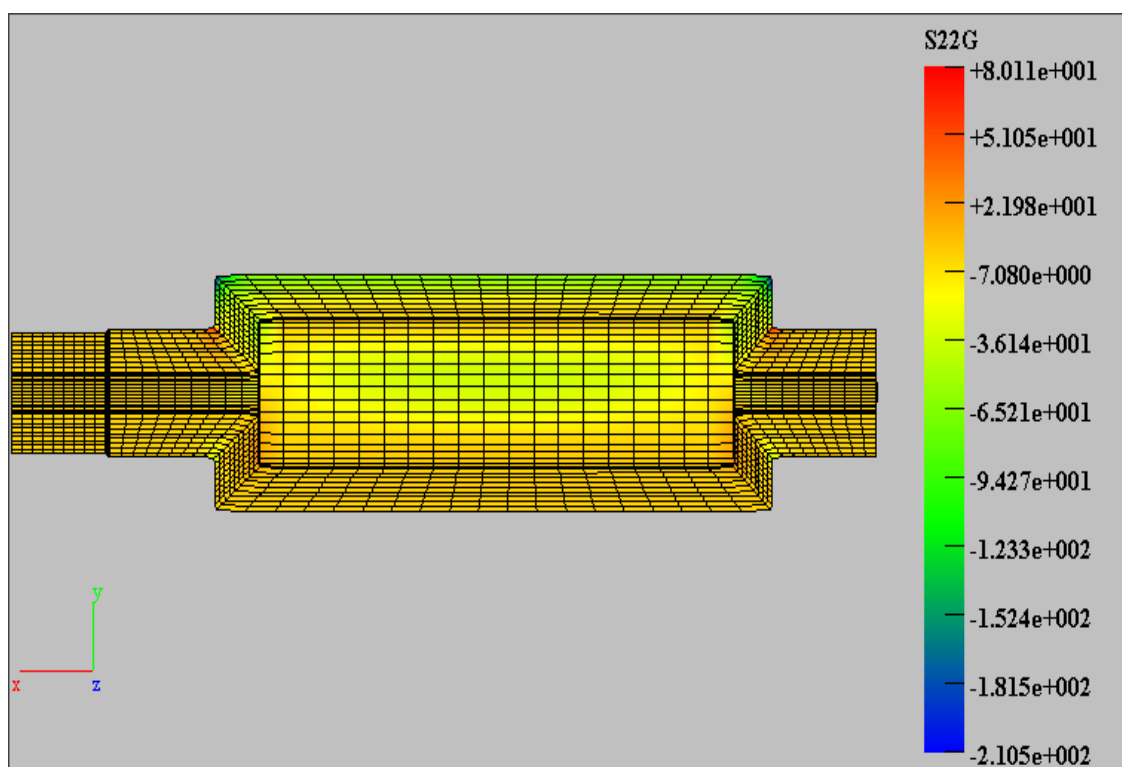


Рис.1.10 Прогин валка

Рис.1.11 Розподіл напружень  $\sigma_{11}$ Рис.1.12 Розподіл напружень  $\sigma_{22}$

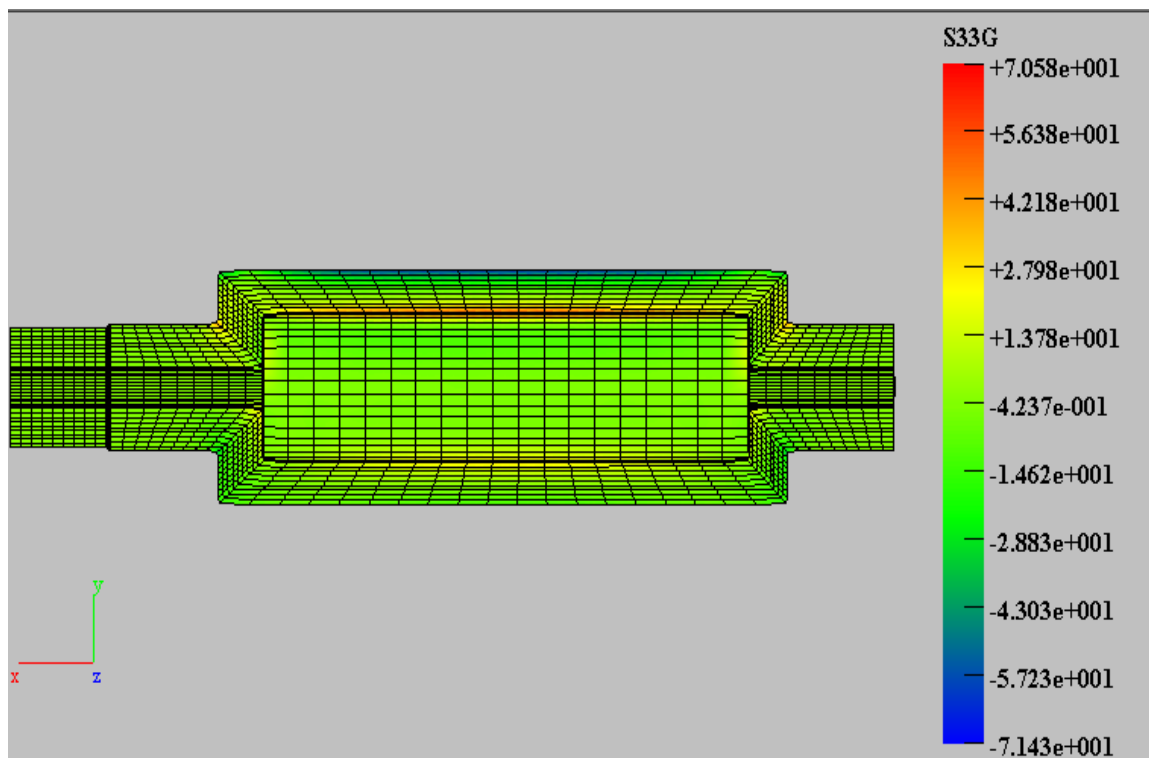


Рис.1.13 Розподіл напружень  $\sigma_{33}$

Висновки:

Знаходження СЕ з максимальними навантаженнями і виділення його в початковій схемі конструкції.

1. З знаходження приведених напружень в максимально навантаженому елементі:

Приведене напруження визначається по енергетичній теорії міцності:

Максимальне напруження в 96-му СЕ фрагменті 5,24 МПа.

Ск.елемент	G11	G22	G33	G priv
96	1,17E-01	-1,34E-03	-1,84E-01	5,24E-01

$$\sigma_{np} = 1,42 \cdot \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2} =$$

$$= 1,42 \cdot \sqrt{(0,117 - (-0,00134))^2 + ((-0,00134) - (-0,184))^2 + (-0,117 - 0,184)^2} = 5,24 \text{ МПа}$$

2. Знаходження допустимих навантажень:

$$[\sigma] = \sigma_{-1}/n = 0.435 \cdot \sigma_{BP}/n = 0.435 \cdot 420/4 = 45,6 \text{ МПа.}$$

де n-запас міцності, що враховує циклічність навантаження і т.д.

Висновок : оскільки отримані максимальні напруження не перевищують допустимих напружень, то таку конструкцію можна вважати працездатною в промислових умовах.

## 2 Розрахунки, що підтверджують надійність конструкції

### 2.1 Розрахунок довговічності підшипників валка

На валку встановлені радіальні сферичні двохрядні роликотпідшипники N3003180 з розмірами  $d \times D \times B = 400 \times 600 \times 148$  та динамічною вантажопідйомністю  $C = 178000$  кг.

Визначаємо еквівалентне динамічне навантаження на підшипник

$$P = (V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a) k_{\delta} \cdot k_t, \quad (2.1)$$

де  $V = 1$  – коефіцієнт обертання відносно вектора навантаження внутрішнього кільця;

$X = 1$  – коефіцієнт внутрішнього навантаження;

$F_r = 75000$  кг – радіальне навантаження, діюче на підшипник;

$Y = 2,69$  – коефіцієнт осьового навантаження;

$F_a = 0$  – осьове навантаження;

$k_{\delta} = 1,2$  – динамічний коефіцієнт, враховує вплив динамічних умов праці;

$k_t = 1,05$  – температурний коефіцієнт;

$$P = (1 \cdot 1 \cdot 75000 + 2,69 \cdot 0) 1,2 \cdot 1,05 = 945000 \text{ Н}$$

Номінальна довговічність підшипника

$$L_h = \frac{10^6}{60 n} \left( \frac{C}{P} \right)^{3,33}, \quad (2.2)$$

де  $n = 22,5$  об/хв – частота обертання підшипника;

$C = 1780000$  Н – динамічна вантажопідйомність;

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 22,5} \left( \frac{1780000}{945000} \right)^{3,33} = 6100 \text{ год.}$$

### 2.2 Розрахунок довговічності підшипників універсального шпинделя

Хрестовина універсального шпинделя шарнірно з'єднана з кінцями вилок. В місцях з'єднання встановлені роликотпідшипники радіальні голчасті N4074290 з розмірами  $d \times D \times B = 100 \times 140 \times 40$  й динамічною вантажопідйомністю  $C = 159000$  Н.

Довговічність підшипників кочення визначається за формулою

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p, \quad (2.3)$$

де  $n = 0,5$  об/хв – частота обертання підшипників;

$C = 159000$  Н – динамічна вантажопідйомність;

$P$  – динамічне еквівалентне радіальне навантаження;

$p = 3,33$  – показник для роликових підшипників.

Визначаємо динамічне еквівалентне радіальне навантаження на підшипник

$$P = (VXF_r + YF_a)k_\sigma k_t; \quad (2.4)$$

де  $V = 1$  – коефіцієнт обертання відносно вектора навантаження внутрішнього кільця;

$X = 1$  – коефіцієнт внутрішнього навантаження;

$F_r = 142113$  Н – радіальне навантаження, діюче на підшипник;

$Y = 0$  – коефіцієнт осевого навантаження;

$F_a = 0$  – осеве навантаження;

$k_\sigma = 1,1$  – динамічний коефіцієнт, який враховує вплив динамічних умов праці;

$k_t = 1,05$  – температурний коефіцієнт;

$$P = (1 \cdot 1 \cdot 142113 + 0 \cdot 0)1,1 \cdot 1,05 = 164141 \text{ Н}.$$

Номінальна довговічність підшипника

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 0,5} \left( \frac{159000}{164141} \right)^{3,33} = 29982 \text{ год}.$$



## Література

1. Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е., Метлов Б.Н. Валковые машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1967.
2. Красовский В.М., Воскресенский А.М., Харчевский В.М. Примеры и задачи по технологии и переработке эластомеров. – Л.: Химия, 1984.
3. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев.: Наукова думка, 1988.
4. Анурьев В.И. Справочник конструктора- машиностроителя, т.2, 1982.
5. Зубчатые передачи. Справочник под общей редакцией Гинзбурга Е.Г. – Л.: Машиностроение, 1980.
6. Биргер И.А., Шорр Б.О., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979.
7. Машины и аппараты химических производств. Под общей редакцией Соколова В.М. – Л.: Машиностроение, 1982.
8. Д.Н.Решетов. Детали машин, М., Машиностроение, 1974.
9. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учебное пособие для машиностроительных спец. Вузов.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. шк., 1985- 416 с., ил.
10. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Расчет и проектирование деталей машин: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. и доп.- Х.:Высш. шк.,1991-276с., ил.